المجلد 26 ـ العددان 12/11
نوڤمبر/ ديسمبر 2010

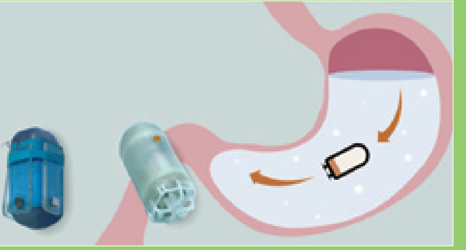
SCIENTIFIC AMERICAN
November / December 2010

مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

أفكار تغيِّر العالَم
عشرون طريقة ابتكارية لبناء عالَم أذكى وأكثر نظافة وصحة


أدوية الدنا DNA تدخل حقل التجارب السريرية


نحو برمجة الإنسالة (الروبوت) ليكون سلوكها سليما


حبات إنسالية (روبوتية) للمساعدة على تشخيص الأمراض ومعالجتها


الماسح المصغَّر المبهِر

كشّاف موضوعات مجلة العلوم 2010


لملايين السنين، يمكن الاحتفاظ بالمواد العضوية!

العددان 272/271 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي
مجلة العلوم
المجلد 26 ـ العددان 12/11
نوڤمبر/ ديسمبر 2010



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 26 ـ العددان 12/11 (2011)
272/271

مراسلات التحرير

توجه إلى : **رئيس تحرير مجلة العلوم**
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق ـ الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
العنوان الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw ـ موقع الويب: www.kfas.org
هاتف : 22428186 (965+) ـ فاكس : 22403895 (965+)

الإعلانات

في الوطن العربي يتفق عليها مع **قسم الإعلانات** بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to*
SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O. Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	✻	جنيه	الكويت	1.500	دينار	4	£	Britain
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	✻	ليرة	2.5	Cl	Cyprus
البحرين	1.800	دينار	الصومال	✻	شلن	ليبيا	✻	دينار	6	€	France
تونس	2.5	دينار	العراق	ـ	ـ	مصر	7	جنيه	6	€	Greece
الجزائر	✻	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	6	€	Italy
جيبوتي	✻	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	✻	أوقية	6	$	U.S.A.
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	6	€	Germany

[✻ ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة : تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

مراكز توزيع *مجلة العلوم* في الأقطار العربية:

• الإمارات: شركة الإمارات للطباعة والنشر والتوزيع ـ أبوظبي/ دار الحكمة ـ دبي • البحرين: الشركة العربية للوكالات والتوزيع ـ المنامة • تونس: الشركة التونسية للصحافة ـ تونس • السعودية: تهامة للتوزيع ـ جدة ـ الرياض ـ الدمام • سوريا: المؤسسة العربية السورية لتوزيع المطبوعات ـ دمشق • عُمان: محلات الثلاث نجوم ـ مسقط • فلسطين: وكالة الشرق الأوسط للتوزيع ـ القدس • قطر: دار الثقافة للطباعة والصحافة والنشر والتوزيع ـ الدوحة • الكويت: الشركة المتحدة لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ الكويت • لبنان: الشركة اللبنانية لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ بيروت • مصر: الأهرام للتوزيع ـ القاهرة • المغرب: الشركة الشريفية للتوزيع والصحافة ـ الدار البيضاء • اليمن: الدار العربية للنشر والتوزيع ـ صنعاء.

شارك في هذا العدد

سعيد الأسعد
محمد بغدادي
هيام بيرقدار
محمد حسن حتاحت
عدنان الحموي
محمود خيال
محمد دبس
زياد درويش
نزار الريس
قاسم السارة
ريمون شكوري
عبدالقادر عابد
فؤاد العجل
أحمد الكفراوي
أنطون مارين
إبراهيم المسلم
بسام معصراني
حاتم النجدي
ماهر ياسين

يمكن تزويد المشتركين في **العلوم** بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and formats ثم اضغط OK

بزيارة الموقع **www.kfas.org** يمكن الاطلاع على صفحة محتويات الإصدار الأخير لـ **العلوم** باللغتين العربية والإنكليزية، وعلى معلومات حول الاشتراكات في هذه المجلة.

المقالات

ترجمة أو مراجعة

«***مجلة العلوم***» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلثي محتوياتها ترجمة لـ«***ساينتفيك أمريكان***» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «***ساينتفيك أمريكان***» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيّم للصور والرسوم الملونة والجداول.

لماذا لا يمكننا العيش إلى الأبد؟(*)

تبدأ خلايانا بخيانتنا مع تقدمنا في السنّ.
ومن خلال كشف ألغاز الشيخوخة، قد يتمكن العلماء من إطالة أعمارنا ونحن بصحة أفضل.

<Th. كيركوود>

إذا أُعطيت لك الحرية المطلقة لتخطط لنهاية حياتك – آخر الأسابيع والأيام والساعات والدقائق – فماذا تختار؟ هل تود، مثلا، أن تبقى بصحة جيدة، ثم تنتهي بسرعة؟ كثير من الناس يقولون إنهم يفضلون هذا الخيار، ولكن لي هنا ملاحظة مهمة وهي أنه إذا كنت تشعر في إحدى اللحظات بأنك في صحة جيدة ، فإن آخر ما يمكن أن تتمناه، هو أن تسقط ميتا في اللحظة التالية. أما بالنسبة إلى محبيك من أفراد العائلة والأصدقاء، فسيعانون فجأة شدة الحزن والأسى؛ حيث ستمثل وفاتك خسارة قاسية لهم. وعلى الجانب الآخر، فإن التعايش في النهاية مع مرض عضال لا أمل في شفائه، ليس بالشيء المستحسن أيضا . ناهيك عن كابوس فقدان أحد الأحباء في ظلمات تدهور قواه العقلية وإصابته بالخبل.

كلنا نفضل تجنب التفكير في نهاية الحياة. ومع ذلك فمن المفيد – على الأقل في بعض الأحيان– أن نطرح مثل هذه الأسئلة، ليس فقط لأنفسنا، بل أيضا من أجل التحديد السليم لأهداف السياسة الطبية والأبحاث. ومن المهم أيضا أن نستوضح مدى إمكانية خدمة العلم للجهود الرامية إلى الاحتيال على الموت.

نحن نعيش أطول(**)

كثيرا ما يقال إن علاقة أسلافنا بالوفاة كانت سهلة وبسيطة؛ ولعل ذلك يعزى إلى أنهم كانوا يرونها حولهم بكثرة. ففي الغرب، وقبل نحو مئة سنة، كان عمر الإنسان المتوقع يقل بنحو 25 سنة عما هو عليه الآن. وتعزى هذه الحقيقة إلى وفاة كثير من الأطفال والشباب في سن مبكرة لأسباب عدة. وقد توفي ربع عدد الأطفال قبل بلوغهم سن الخامسة بسبب العدوى، وكثيرا ما توفيت الأمهات نتيجة مضاعفات الولادة، وكان واردا أن يتوفى بستاني شاب بعد خدش يده بشوكة أحد النباتات نتيجة حدوث تسمم دموي.

وقد أدى التحسن الكبير في الإجراءات الصحية العامة والرعاية الطبية والذي حدث خلال القرن الماضي، إلى انخفاض جذري في معدلات الوفيات في الأعمار الصغيرة والمتوسطة، التي صار الناس الآن يتخطونها ويعيشون إلى ما بعدها بكثير، وأضحى الجمهور ككل أكبر سنا من أي وقت مضى. ومازال متوسط العمر المتوقع حول العالم بازدياد. وقد بلغ معدل الزيادة في الدول الغنية نحو خمس ساعات في اليوم الواحد،

مفاهيم مفتاحية

- يستمر متوسط عمر الإنسان بالازدياد، وقد بدأ بعض العلماء بالتفكير في شأن ما إذا كان هذا التوجه سيستمر إلى ما لانهاية.
- لا تشيخ جميع الأنواع الحية، وتشير بعض الأبحاث إلى أن باستطاعة الأدوية أو تعديل الغذاء أن يبطئا عملية الاستقلاب (الأيض)(1) metabolism أو يعدّلا الآليات الأساسية للشيخوخة؛ بحيث نستطيع العيش مدة أطول. وعلى أية حال، فإن جميع الاستراتيجيات المقترحة بشأن إطالة العمر، مازالت غير مؤكدة.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) WHY CAN'T WE LIVE FOREVER?
(**) We're Living Longer
(1) أو التمثيل الغذائي. (التحرير)



أمــا في كثير من الــدول النامية اللاحقة بالــدول المتقدمة، فإن الزيادة ترتفع بمعدل أكبر. وصار الســبب الســائد للوفاة الآن هو الشــيخوخة ذاتهــا، ومــا ينتــج منها مــن أمراض، مثل السرطان الــذي يــدفــع بالخلايا إلى التكاثــر خــارج نطــاق التحكم، أو مرض ألزهايمر – علــى الطرف الآخر – الذي يتسبب في الموت المبكر لخلايا الدماغ.

وفــي الزمــن الحديث، وحتى عــام 1990، توقــع خبراء الدراسات الإحصائية للســكان (الديموگرافيّون) بكل ثقة، قُرْبَ التوقف التاريخــي للزيادة المطردة في الأعمار، واعتقد كثير من الباحثين أن الشيخوخة عملية ثابتة، أي إنها مبرمجة ضمن جهازنــا الحيوي وتفضي إلى الموت الموقوت.

ولم تخطــر على بال أحد الزيــادة المطردة في الأعمار، فقد فاجأت رجال السياســة والمخططين. ومازال العلماء يحاولون اســتيعاب حقيقة أن عملية الشــيخوخة ليســت ثابتة، وأن متوسط عمر الفرد لم يصل بعد إلى حد معين. فهي تتغيــر وتســتمر بالتغيــر، وتمتــد لأسباب لا نفهمها بالكامل. غير أن انخفاض معدلات وفيات الطاعنين في الســن، يفضي بتوقعات طول الحياة إلى معدلات غير محســوبة. وإذا تهاوت اليقينيات السابقة بشأن شيخوخة الإنســان، فماذا يتبقى؟ وماذا يعرف العلم في الواقع عن

عملية الشيخوخة؟

ليس من السهل دائما قبول أفكار جديدة؛ لأن العلماء أنفسهم بشر أيضا، وقد نشأنا جميعا ولدينا مفاهيم مسبقة جامدة بشأن ما يتصل بكيفية شيخوخة الجسم. وقد حدث منذ بضع سنوات، عندما كنت أصطحب عائلتي في رحلة بالسيارة في إفريقيا، أن دهستُ معزة فماتت على الفور. وعندما شرحت ما حدث لابنتي ذات السنوات الست، سألتني: «هل كانت المعزة صغيرة أو عجوزا؟» وانتابني الفضول عن سبب سؤالها، فأجابتني قائلة: «إن الأمر لا يدعو إلى كثير من الأسى إذا كانت عجوزا؛ لأنها لن تعيش طويلا على أية حال». وقد تركت إجابتها أثرا عميقا في نفسي؛ فإذا كانت مواقفنا من الموت تتشكل منذ هذه السن المبكرة، فلا عجب إذن، أن يجد العلماء الآن صعوبة شديدة في التلاؤم مع حقيقة أن معظم ما ظننا أننا نعرفه عن الشيخوخة، هو خطأ في الواقع.

ولاستكشاف التفكير الحالي حول آليات التحكم في الشيخوخة، دعونا نبدأ بتصور أحد الأجساد في آخر مراحل حياته. إنه يتنفس للمرة الأخيرة، ثم يُطْبِق الموت، وتنتهي الحياة. وفي هذه اللحظة، تكون معظم خلايا الجسم مازالت حية؛ ودون أن تدري بما حدث، فإنها تستمر – بأفضل ما تسمح به قدراتها – بأداء وظائفها الداعمة للحياة، مثل استقطاب الأكسجين والمواد المغذية

(*) How Much More Can Life Span Increase?

[مقياس طول العمر]

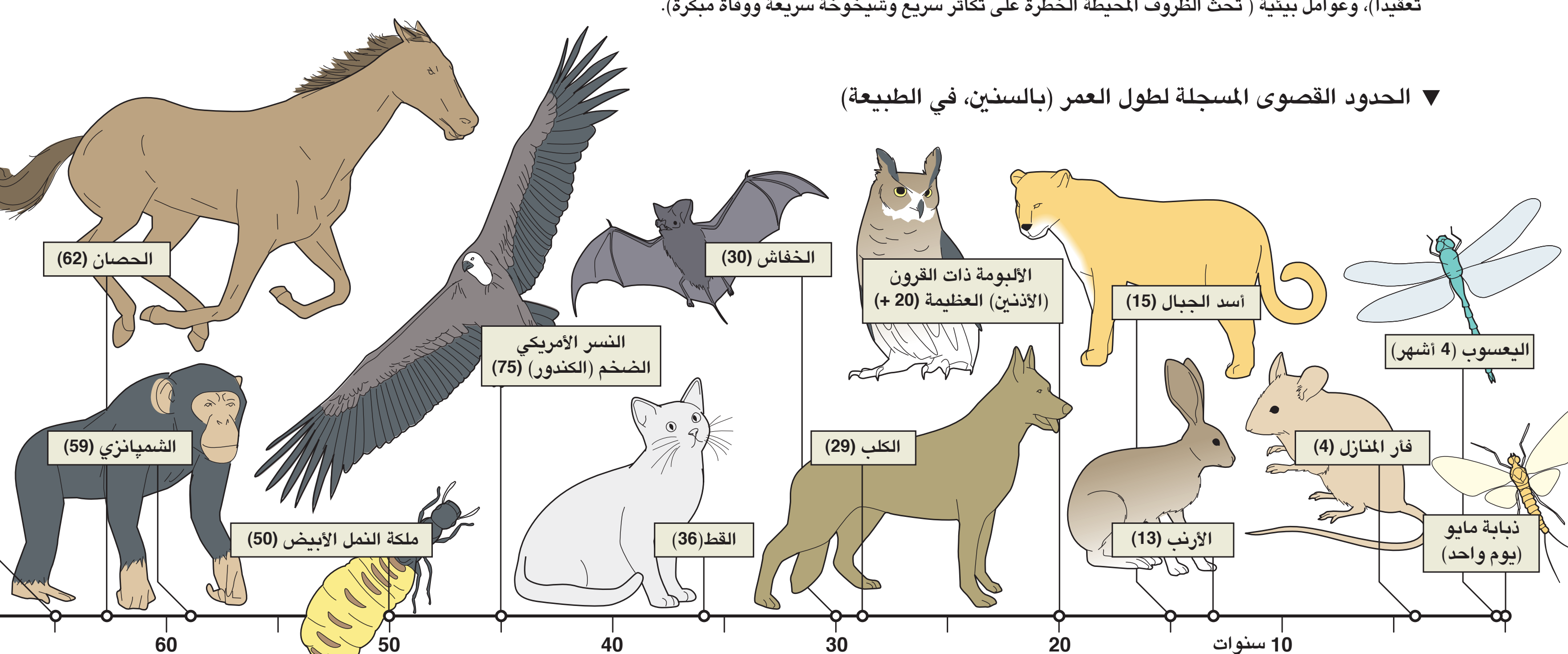
إلى أي قدر يمكن للحياة أن تطول؟(*)

ارتفع المتوسط المتوقع للأعمار على مدى المئة سنة الماضية في الولايات المتحدة، وفي العالم أجمع *(الرسم البياني)*. وعلى أية حال، تشير الدلائل إلى أن قيودا حيوية تمنع معظم الأنواع الحية من تخطي الحدود العمرية الخاصة بذلك النوع *(في الأسفل)*. ويأمل الباحثون بأن التدخلات الهادفة إلى حلحلة هذه القيود، سترفع من الحد الأقصى لطول العمر الحالي، أو ستساعد الناس – على أقل تقدير – على البقاء في صحة جيدة مُددا أطول مما هي عليه الآن.

الأعمار تطول : لقد أدى التقدم في الطب والإجراءات الصحية العامة إلى إطالة الأعمار في الولايات المتحدة وحول العالم.

متوسط العمر المتوقع (سنوات)
90
70
50
30
1900
1950
2010
2050
الولايات المتحدة
المتوسط العالمي
المرتقب

ولكن الحدود موجودة : يعتمد الحد الأقصى لعمر أحد الأنواع الحية، بما في ذلك الإنسان، على عوامل بيولوجية (يمكن للمتعضيات البسيطة simpler organisms الوصول إلى أعمار أطول كثيرا من الكائنات الأكثر تعقيدا)، وعوامل بيئية (تحت الظروف المحيطة الخطرة على تكاثر سريع وشيخوخة سريعة ووفاة مبكرة).



من البيئة المحيطة بها وتسخيرها لتوليد الطاقة اللازمة لصنع البروتينات (المكونات العاملة الأساسية في الخلايا) وتنشيطها ولدعم المكونات الأخرى للخلايا.

وبعد برهة قصيرة، وإثر حرمانها من الأكسجين، تموت الخلايا. وبموتها تأتي النهاية الهادئة لشيء ضارب في القدم. وإذا توفرت السجلات، فبإمكان خلية مفردة تموت في الجسم أن تتيح لنا تعقب أسلافها، خلال سلسلة متصلة من انقسام الخلايا، وتتبع ماضيها عبر - ما يفوق التصور - نحو أربعة بلايين سنة - حين انبثق أول أشكال حياة الخلايا على كوكب الأرض.

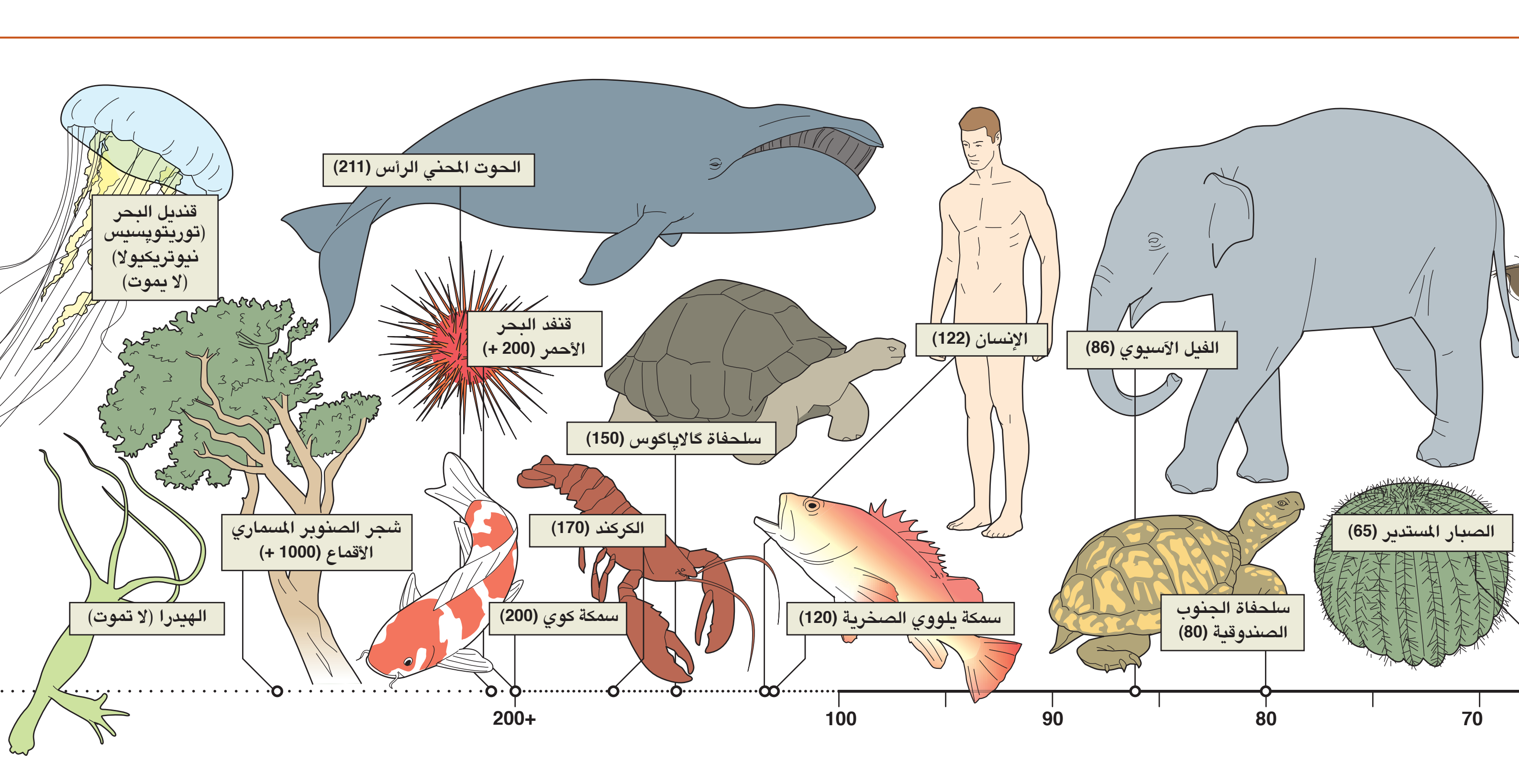
إن الموت حقيقة مؤكدة، ولكن لدى بعض خلاياك - على الأقل - خاصية مدهشة، أقرب ما تكون إلى الخلود. وعندما تحدث وفاتك، فإن عددا قليلا من هذه الخلايا سيكمل هذا الخط الخلودي ويحمله إلى المستقبل، وهذا فقط إذا كان لك أطفال. وتنجو خلية واحدة من جسدك من مصير الفناء - خلية منوية أو بويضة - لكل طفل حي. ومن ثم، يولد الأطفال وينمون وينضجون ويتكاثرون، وهكذا تستمر الأمور.

للتو يكشف المشهد الذي تصورناه، ليس فقط عن مصير جسمنا الفاني، أو «الجسد» "soma" المتكون من جميع الخلايا غير الوراثية، بل أيضا عن الخلود شبه الإعجازي **لسلسلة خط الخلايا** the cellular lineage التي ننتمي إليها. ويتمثل اللغز المحوري في علم الشيخوخة، الذي ينبثق منه كل شيء آخر، بتساؤلات مثل: لماذا تمتلك معظم الكائنات أجساما فانية؟ ولماذا لم يؤدِّ التطور بجميع خلايانا إلى التمتع بخاصية الخلود الظاهري لسلسلة **خط خلايا التناسل** the reproductive lineage، أو **الخط الإنتاشي** germ line كما يتمثل بالحيوانات المنوية والبويضات؟ وقد جرى تعرف هذا اللغز لأول مرة من قبل العالِم الطبيعي الألماني <A. وايسمان> في القرن التاسع عشر، وخطر على بالي أحد الحلول أثناء استحمامي في إحدى ليالي شتاء عام 1977. وأعتقد أن الإجابة، التي يطلق عليها الآن **نظرية الجسد الذي يمكن الاستغناء عنه** the disposable soma theory، تمضي شوطا بعيدا نحو تفسير سبب شيخوخة بعض الأنواع الحية كما نلاحظها اليوم.

لِمَ نشيخ كما هو عليه حالنا(*)

يمكن فهم النظرية على أفضل وجه، بالنظر إلى التحديات التي تواجهها الخلايا و**المتعضيات المركبة** complex organisms في سبيل محاولتها البقاء على قيد الحياة. فالخلايا تتعرض للتلف باستمرار؛ حيث تحدث تغييرات وطفرات في **الدنا** DNA، وتتلف البروتينات، وتقوم الجسيمات الحرة - العالية القدرة

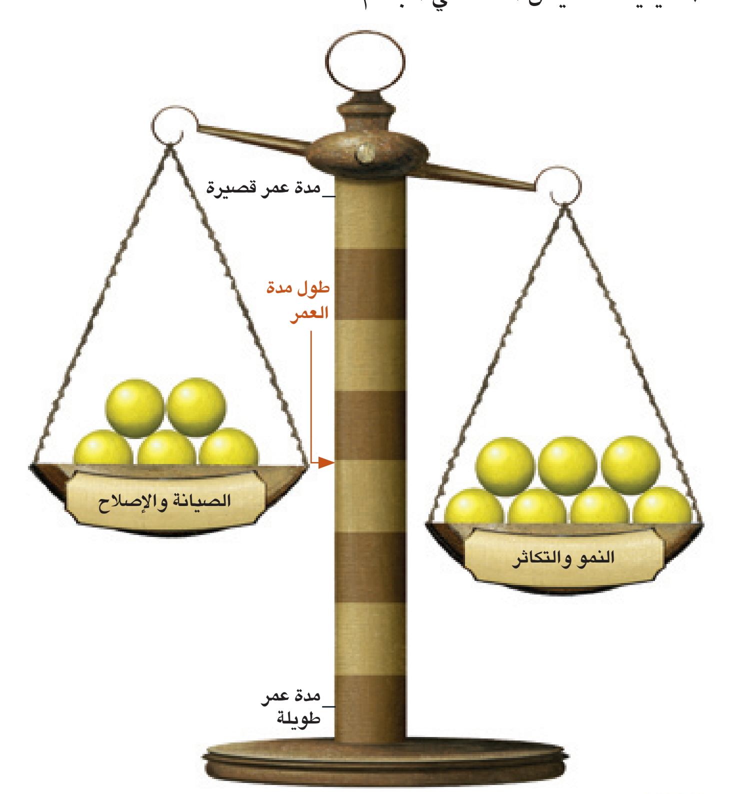
(*) Why We Age As We Do



كيف تنشأ الشيخوخة عن المقايضة(*)

وفق نظرية المؤلف بشأن الجسد المستغنى عنه؛ فإن الشيخوخة تحدث حيث يتعين على جسدنا المفاضلة بين التكاثر والبقاء في حالة جيدة من الإصلاح. ومع وضع محدودية الإمداد بالطاقة في الحسبان، فإن الكمية التي توجه نحو صنع الحيوانات المنوية والبويضات وصيانتها، تحيد بالميزان بعيدا عن الإبقاء على سائر خلايا الجسد، مثل الجلد والعظام والعضلات وغيرها، في حالة جيدة. ونتيجة لذلك، يتراكم التلف مع مرور الزمن، ويتسبب في النهاية باعتلال أحد أجهزة الجسم أو غيره. وعندما يتجاوز القصور حد الإصلاح، تحدث الوفاة.

▼ كيفية تخصيص الطاقة في الجسم



الطاقة الخلوية الناتجة من الأغذية

يؤدي ضعف إصلاح الخلايا وتراكمه إلى الوهن التدريجي ◄

الدماغ

قد تبدأ الذاكرة، وكذا الوقت اللازم لردود الفعل، بالنقصان في حوالي سن السبعين.

العينان

تبدأ صعوبة التركيز على الأشياء القريبة في الأربعينات من العمر. وفي السبعينات، تقل قدرة رؤية التفاصيل الدقيقة ، وتزيد الحساسية للوميض، كما تقل القدرة على الرؤية في الضوء الخافت وكذا ملاحظة الأشياء المتحركة.

الرئتان

تقل القدرة القصوى على التنفس بمقدار 40 في المئة ما بين العشرين والثمانين من العمر.

القلب

يقل معدل ضربات القلب أثناء بذل أقصى جهد عضلي بمقدار 25 في المئة، ما بين العشرين والخامسة والسبعين.

غضاريف الفقرات

يمكن للضغط على الغضاريف الإسفنجية التي تفصل ما بين الفقرات، على مدى سنوات، أن يفضي إلى انزلاقها أو تمزقها أو بروزها؛ ثم تقوم الغضاريف، أو الفقرات ذاتها، بالضغط المسبب للألم على الأعصاب.

العظام

يبدأ معدل فقد الأملاح من العظام في الزيادة على معدل إحلالها في سن الخامسة والثلاثين تقريبا، ويتسارع هذا المعدل لدى النساء بحلول سن انقطاع الطمث.

المفاصل

تتسبب الحركات المتكررة على مر السنين في نحول الأغطية الزلقة الواقية في المفاصل؛ مما يؤدي إلى خشونة احتكاك العظام ببعضها بعضا. وقد يتفاقم الألم في حال حدوث التهاب بالمفاصل (الفصال العظمي) osteoarthritis أو غيره من الأمراض.

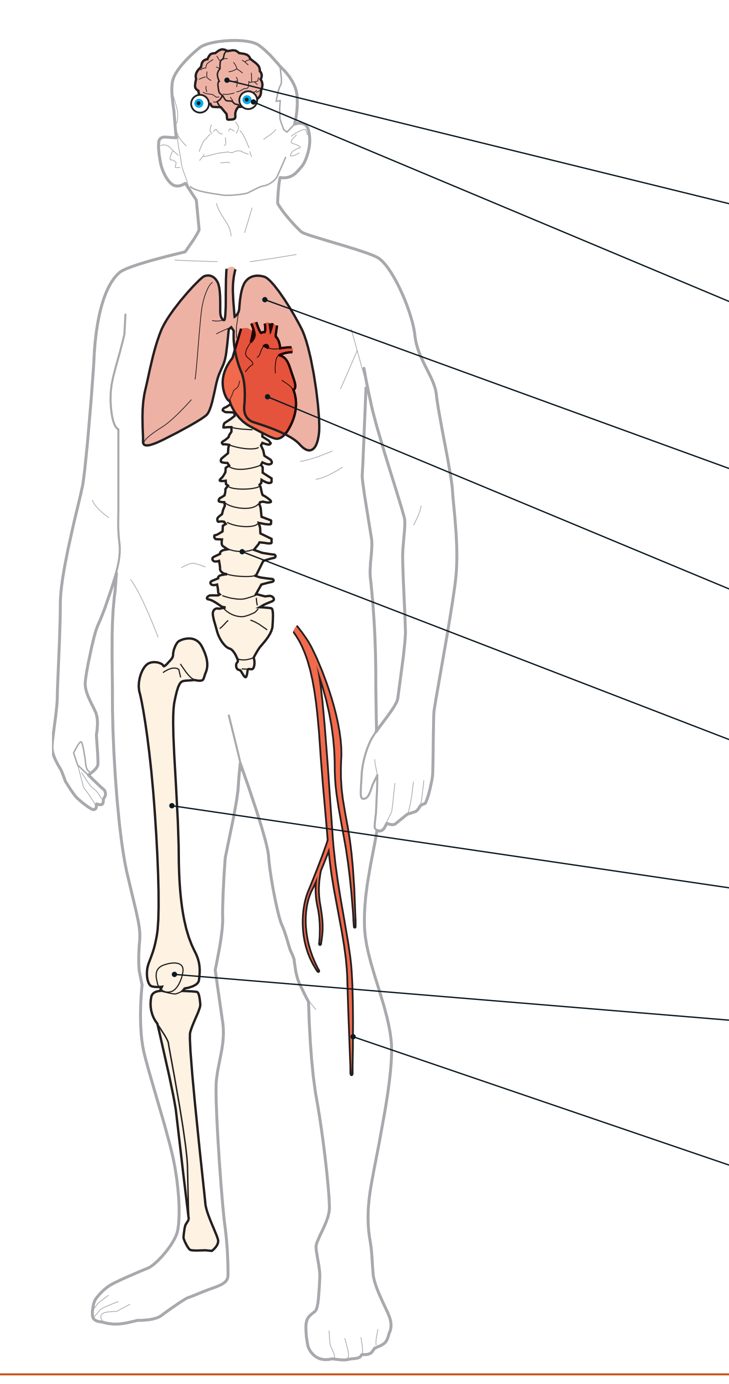
الأوردة

تنتفخ الأوردة في الأرجل وتلتوي (دوال) عندما تقل كفاءة الصمامات الوريدية الصغيرة التي تنغلق مؤقتا تلو كل ضربة من ضربات القلب (للإبقاء على تدفق الدم إلى الأعلى نحو القلب)، ويؤدي ذلك إلى تجمع الدم. ويمكن لحالات الدوالي المتقدمة أن تُفضي إلى التورم والألم، وفي بعض الحالات النادرة، إلى حدوث جلطات تهدد الحياة.

على التفاعل - المعروفة باسم **الجسيمات الشاردة** free radicals بتمزيق جدران الخلايا، والقائمة أطول من ذلك بكثير. وتعتمد الحياة على دوام نسخ البيانات الجينية وترجمتها، ونحن نعلم مدى تميز الآلية الجزيئية التي تتناول هذه الأمور، لكنها بالتأكيد لا تبلغ حد الكمال. ومع أخذ هذه التحديات جميعها في الحسبان، فإن عدم فناء سلسلة الخط الإنتاشي، شيء مدهش حقّا.

إن الخلايا الحية تعمل باستمرار تحت تهديد التلف، وسلسلة الخط الإنتاشي ليست معصومة بحال من الأحوال. وترجع أسباب عدم فناء سلسلة الخط الإنتاشي كنتيجة كارثية لعدد من الأخطاء، إلى قدراتها الذاتية المعقدة على صيانة أنظمتها الخلوية، وكذا قدرتها على التخلص من أخطائها الجسيمة من خلال دورات مستمرة من المنافسة. ومع أن إنتاج الحيوانات المنوية يتم عادة بأعداد فائقة، إلا أنه لا يستطيع تلقيح البويضة إلا واحد فقط ممن يتمتعون بصحة جيدة. كذلك، فإن الخلايا الصانعة للبويضات يجري إنتاجها بأعداد كبيرة تفوق طاقة الإباضة؛ حيث تخضع مراحل خروج البويضة لإجراءات صارمة من أجل التحكم في الجودة، مستبعدة البويضات القليلة الجودة. وأخيرا، إذا أفلتت أخطاء من جميع هذه المراحل الرقابية،

(*) How Aging Stems From Trade-Offs



فإن **الانتقاء الطبيعي**[1] natural selection يفرض الحكم النهائي؛ حيث يُبقي الأصلح ليمد سلسلة الخط الإنتاشي، إلى الأجيال المستقبلية.

وكما أشار عالم التطور الأمريكي <G. ويليامز>، ونظرا إلى ما يتبدى عملا بطوليا خارقا، أي نمو جسد كامل معقد من خلية واحدة - البويضة الملقحة - تبدو المسألة بسيطة ومباشرة، لأن يستمر الجسد بالحياة إلى ما لانهاية. وفي واقع الأمر، إن غياب الشيخوخة، يبدو هو القاعدة في بعض المتعضيات المتعددة الخلايا. فهناك - على سبيل المثال - كائن **الهيدرا** hydra الذي يعيش في المياه العذبة ويتمتع بقدرة غير طبيعية على البقاء، ولا يقف الأمر فقط على ما يتبدى من أن الهيدرا لا تشيخ، بمعنى أن معدلات وفاتها لا تزيد مع تقدمها في العمر ولا تقل قدرتها على التكاثر، بل إنها قادرة كذلك على إنماء جسد كامل جديد حتى من الشظايا الصغيرة منها إذا تقطعت بالصدفة إلى قطع صغيرة. وبكل بساطة، يكمن سر الشباب الدائم للهيدرا في تخلل **الخلايا الإنتاشية** germ cells جميع أنحاء جسدها. وبذلك ينتشر الخط الإنتاشي في كل مكان، وليس مستغربا أن تستمر كل هيدرا واحدة بالحياة من دون توقع نهاية لها، ما لم تقع ضحية إصابة أو افتراس.

إلا أنه في معظم الحيوانات المتعددة الخلايا يوجد الخط الإنتاشي فقط في الأنسجة التناسلية، حيث تتكون كل من الحيوانات المنوية والبويضات. ويتيح هذا النمط من الترتيب مزايا كبيرة، بعد أن منح الفرصة - عبر تاريخ التطور الطويل - للخلايا الأخرى لتتخصص بوصفها خلايا عصبية أو عضلية أو خلايا كبدية، وغير ذلك مما هو مطلوب لنمو **المتعضي المركب**[2] سواء كان من الدينوصورات الثلاثية القرون، أو الإنسان.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن لتقسيم العمل، توابع بعيدة المدى بشأن ما يتعلق بشيخوخة المتعضيات وطول عمرها المتوقع. وفور تخلي الخلايا المتخصصة عن دورها في استكمال مسيرة النوع، فإنها تهجر أيضا كل حاجة إلى الخلود، ويمكنها الموت بعد أن يمرر جسدها أسطورته الجينية من خلال الخط الإنتاشي إلى الجيل التالي.

تبادل المنفعة في نهاية المطاف(*)

إذن، ما المدة التي يمكن أن تحياها هذه الخلايا المتخصصة؟ وبقول آخر: ما المدة التي يمكن لنا وللمتعضيات المركبة الأخرى أن نحياها؟ تتعلق الإجابة - بالنسبة إلى أي نوع معين - إلى حد كبير بالتهديدات البيئية التي واجهها السلف أثناء تطوره وكذا بتكلفة الطاقة اللازمة للإبقاء على الأداء الجيد للجسد.

وإلى حد بعيد، تموت أكثرية **المتعضيات الطبيعية** natural organisms في أعمار صغيرة نسبيّا بسبب الحوادث والافتراس أوالعدوى أوالجوع. وعلى سبيل المثال، يقع الفأر البري تحت رحمة ظروف بيئية خطيرة للغاية. ويقتل بسرعة نسبية، حيث يندر أن يكمل سنته الأولى. ومن

(*) Ultimate Trade-Offs
(1) أو الاصطفاء الطبيعي.
(2) complex organism
(التحرير)

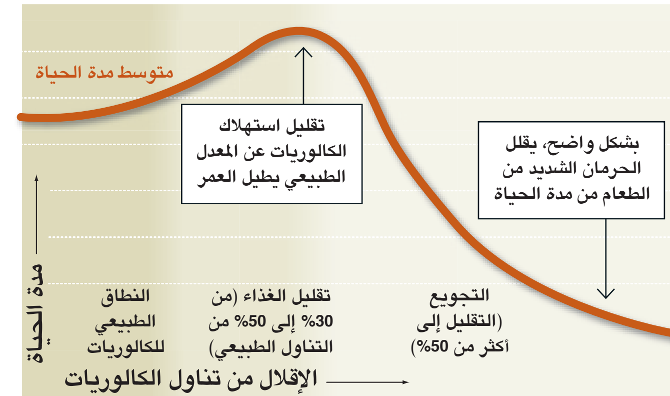
[إشارة إلى أدوية جديدة]

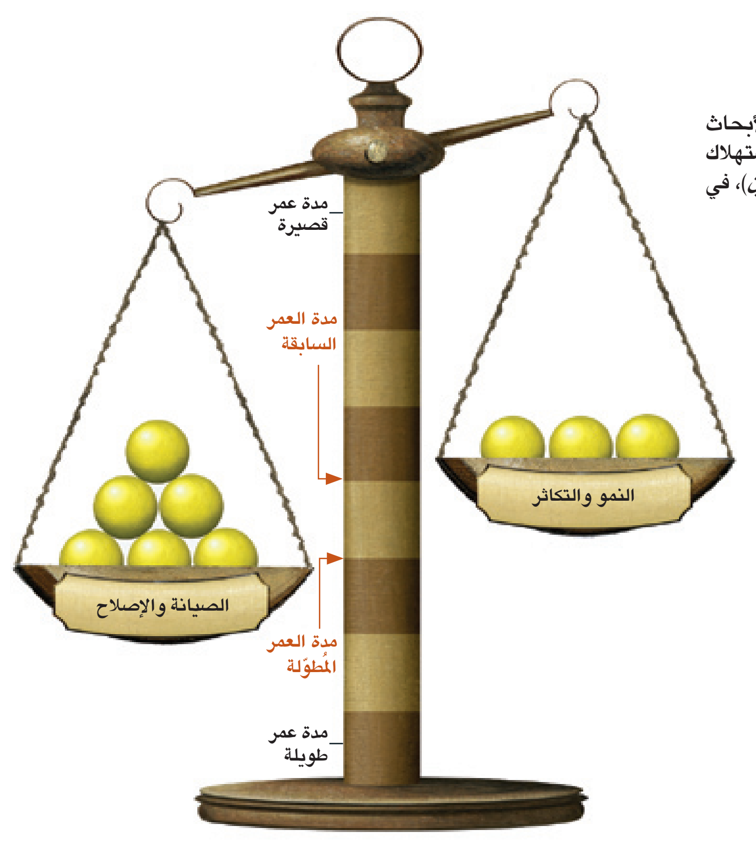
هل يمكننا إبطاء الشيخوخة؟(*)

لا يوجد من يعرف كيفية إبطاء الشيخوخة لدى الإنسان. ولكن قد تتمخض الأبحاث الأكاديمية الأساسية عن أدوية تطيل العمر. فقد تؤثر بعض المواد في الاستقلاب (استهلاك الطاقة) بحيث تشابه الفوائد الملاحظة في الحيوانات (*الشكل في الأسفل إلى اليمين*)، في حين يمكن أن تؤثر مواد أخرى في سلوك الخلايا المعطوبة (*في الصفحة المقابلة*).

النحافة وطول العمر: قد تقوم بعض الأدوية بإعادة توجيه الاستقلاب للخلية بحيث تميل كفة الميزان نحو صيانة الوظائف وإصلاحها، وتبتعد عن التكاثر؛ وبذلك تحافظ على صحة أعضاء الجسم لمدة أطول. وقد أوضحت الأبحاث على الذباب والديدان والفئران أن تقليص استهلاك الكالوريات (السعرات الحرارية) calories يطيل متوسط أعمارها مقارنة بالحيوانات التي تتناول أغذية طبيعية (الرسم البياني). ولكن لم يتضح بعد ما إذا كان تحديد السعرات سيحدث أثرا مماثلا في الإنسان.

▼ تحديد الكالوريات يطيل عمر الحيوانات





▲ تحديد تناول الكالوريات يؤثر في أسلوب تخصيص الطاقة

ناحية أخرى، فإن الخفافيش تتمتع بأمان أكثر لقدرتها على التحليق.

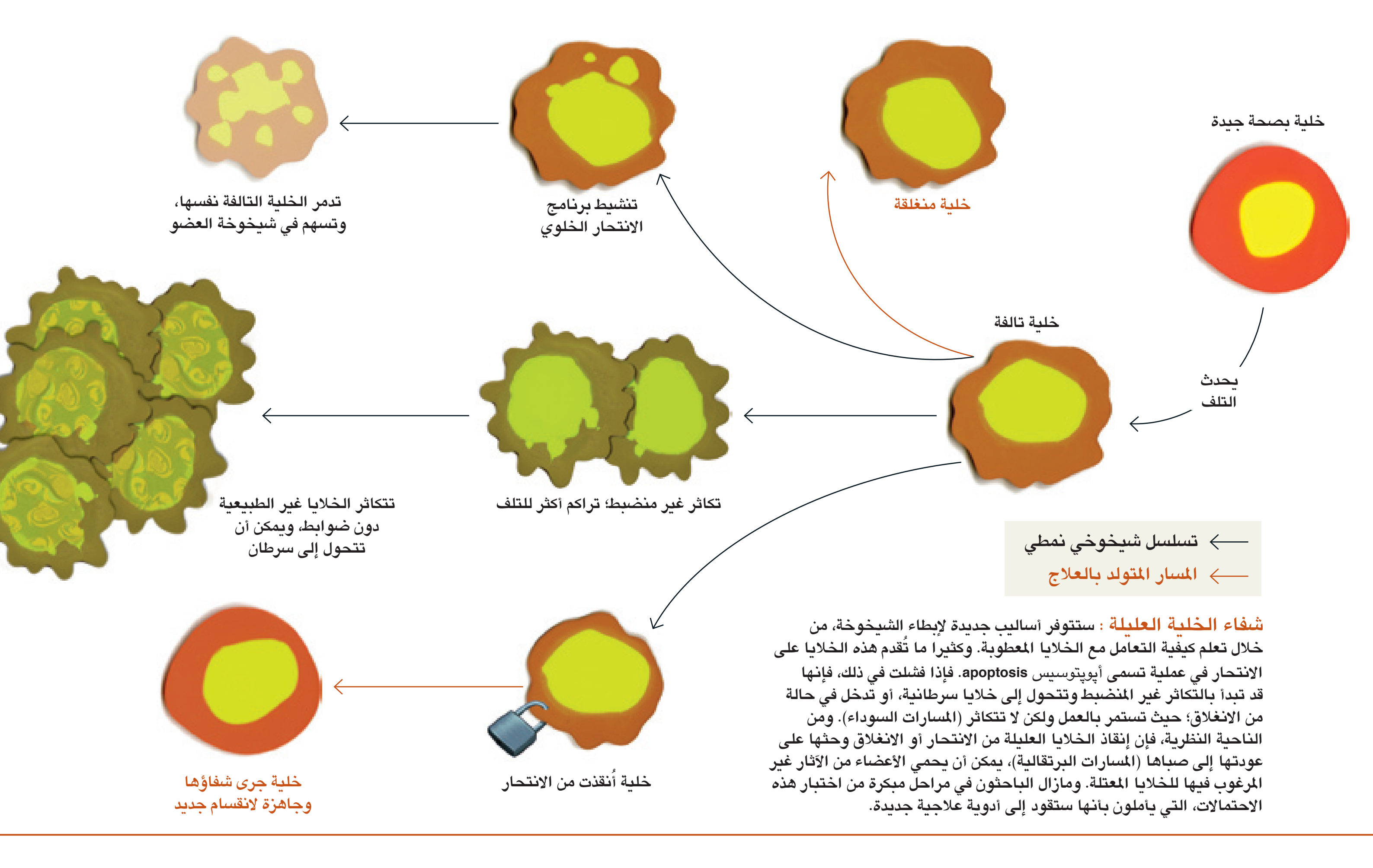
إن الإبقاء على الجسد مسألة مكلفة، والموارد محدودة في العادة. وفيما يتعلق بإجمالي كمية الطاقة المستهلكة يوميّا، فجزء منها قد يستهلكه النمو، وجزء ثان يذهب إلى النشاط العضوي والحركة، وجزء ثالث إلى التكاثر. وبعيدا عن كل ذلك، قد يجري تخزين جزء من الطاقة على شكل دهون، تحسبا لأوقات نقص الموارد الغذائية. وهناك جزء كبير يستغل لمجرد إصلاح التلفيات التي لا تحصى وتقع في كل ثانية من حياة المتعضي. هذا، ويذهب جزء من هذه الموارد إلى قراءة **كود** code الجينات المتعلقة بالبناء المستمر للپروتينات وغيرها من الجزيئات الأساسية. كما يخصص جزء آخر للتخلص من جزيئات النفايات، وهي آليات متعطشة دائما إلى الطاقة.

وهنا تأتي **نظرية الجسد الذي يمكن الاستغناء عنه**(1)، وتمضي النظرية على الوجه التالي: كأي إنسان صانع لأحد المنتجات اليومية - سيارة أو معطف على سبيل المثال - فإن على الأنواع الحية المتطورة أن تجري عملية مقايضة، وليس عليها أن تدفع شيئا لتستثمر من أجل البقاء حية إلى الأبد، إذا كانت البيئة تحمل لها احتمالات الموت في إطار زمن تقريبي متوقع. أما من أجل استمرار حياة النوع، فيحتاج **الجينوم** genome في الأساس، إلى إبقاء المتعضي في صحة جيدة، مع تمكينه من التكاثر الناجح في غضون فترة حياته.

وفي جميع مراحل الحياة، حتى قرب نهايتها، يبذل الجسم أقصى ما يستطيع للبقاء حيّا. وفي قول آخر، إن الجسم ليس مبرمجا للموت، وإنما للحياة. ولكن تحت الضغوط الطاحنة لعملية الانتقاء الطبيعي، تنتهي الأنواع الحية إلى وضع أولويات استثماراتها في النمو والتكاثر، أي لدوام النوع، بدلا من بناء جسد يبقى للأبد. وعلى ذلك، تقود الشيخوخة عمليةُ تراكم متدرج بطول الحياة لمختلف أشكال الجزيئات المعطوبة وتلفيات الخلايا.

وبناء على ذلك، لا يوجد برنامج بيولوجي يملي موعد الوفاة بدقة. ولكن الأدلة المتزايدة تشير إلى قدرة جينات معينة على التأثير في طول الفترة التي نعيشها. وفي الثمانينات، اكتشف كل من <T. جونسون> و <M. كلاس> أثناء تجاربهما على **الديدان الحلقية** الرفيعة nematode worms، أحد الجينات ذات القدرة على إطالة العمر. وقد أطلق الباحثان على إحدى

(*) Can We Slow Aging?
(1) disposable soma theory



شفاء الخلية العليلة : ستتوفر أساليب جديدة لإبطاء الشيخوخة، من خلال تعلم كيفية التعامل مع الخلايا المعطوبة. وكثيرا ما تُقدم هذه الخلايا على الانتحار في عملية تسمى أپوپتوسيس **apoptosis**. فإذا فشلت في ذلك، فإنها قد تبدأ بالتكاثر غير المنضبط وتتحول إلى خلايا سرطانية، أو تدخل في حالة من الانغلاق؛ حيث تستمر بالعمل ولكن لا تتكاثر (المسارات السوداء). ومن الناحية النظرية، فإن إنقاذ الخلايا العليلة من الانتحار أو الانغلاق وحثها على عودتها إلى صباها (المسارات البرتقالية)، يمكن أن يحمي الأعضاء من الآثار غير المرغوب فيها للخلايا المعتلة. ومازال الباحثون في مراحل مبكرة من اختبار هذه الاحتمالات، التي يأملون بأنها ستقود إلى أدوية علاجية جديدة.

طفرات الجين اسم «***العمر*–1**» *age*-1 بجدارة. حيث أطال متوسط العمر بمقدار 40 في المئة. ومنذ ذلك الحين، وجد الباحثون في العديد من المختبرات عددًا كبيرًا من الجينات ذات القدرة على زيادة عمر الديدان. كما تم تعرف طفرات مشابهة في حيوانات أخرى، تراوحت من ذبابة الفاكهة إلى الفئران.

ومعظم الجينات المطيلة للعمر، تغير من معدل الاستقلاب للجسم، أي أسلوب استخدامه للطاقة في أداء وظائفه الجسدية. وكثيرا ما وجد الباحثون أن هذه الجينات تؤدي دورا في **الإشارات المختلفة لمسارات الإنسولين**[1]، وهي محورية في تنظيم الاستقلاب. وجدير بالذكر أن باستطاعة سلسلة التفاعلات الجزيئية التي تشكل هذا المسار، التحويل الفعلي لنشاط المئات من الجينات الأخرى المسؤولة عن التحكم في جميع الخطوات المعقدة، المتعلقة بالحفاظ على الخلايا وإصلاحها. وفي واقع الأمر، يبدو أن إطالة العمر تتطلب بالتحديد، تغييرا في العمليات نفسها التي تحمي الجسم من تراكم التلف.

كذلك، فإن كمية الغذاء المتوفر تحرك معدل الاستقلاب بالزيادة أو بالنقصان. ومن المثير للدهشة البالغة، اكتشاف الباحثين منذ فترة بعيدة تعود إلى ثلاثينات (القرن المنصرم)، أن تغذية حيوانات التجارب (القوارض) بأقل من المعتاد، تطيل من أعمارها. ومرة أخرى، يبدو أن لتعديل الاستقلاب أثرا في معدل تراكم التلف؛ ذلك أن الفئران المعرضة لتقليل الغذاء، يزداد لديها عدد كبير من نشاط أنظمة الصيانة والإصلاح. وقد يبدو غريبا للوهلة الأولى، أن الحيوان المعرض لقلة الغذاء، يبذل طاقة أكبر – وليست أقل – على صيانة جسده. وعلى أية حال، لاشك في أن أوقات المجاعات هي أوقات سيئة للتكاثر، وهناك بعض الأدلة التي تشير إلى لجوء بعض الحيوانات أثناء المجاعات إلى إيقاف تكاثرها؛ وبذلك يتحول جزء كبير من رصيد طاقاتها المتبقية نحو الحفاظ على الخلايا.

عن الفئران والإنسان(*)

لقد جذبت ملاحظة العلاقة بين خفض استهلاك **الكالوريات (السعرات الحرارية)** calories وإطالة العمر، انتباه الناس الراغبين في إطالة أعمارهم. ولكن على هؤلاء، ملاحظة أن فعالية هذه الآلية ضعيفة جدّا بالنسبة إلينا؛

(*) of Mice And Men
(1) the insulin-signaling pathway

حيث إن معدل استقلابنا البطيء يختلف تماما عنه في المتعضيات التي جربت فيها هذه الاستراتيجية.

وفي واقع الأمر، فإن إطالة العمر أمكن إنجازها فعلا في بعض أنواع الديدان والذباب والفئران. فهذه الحيوانات، بما تتميز به من أنظمة حيوية قصيرة المدى وسريعة الإيقاع، لديها احتياج مُلح للتحكم في استقلابها بأسلوب يسمح بسرعة التأقلم تبعا لتغير الظروف المحيطة. ففي الديدان الحلقية – على سبيل المثال – تحدث معظم الآثار المدهشة بشأن طول العمر نتيجة طفرات نشأت لتتيح للديدان تعديل نموها إلى شكل مقاوم للضغوط كلما وجدت نفسها في بيئة غير مواتية، تتطلب منها – بصفة مبدئية – القيام برحلات طويلة للعثور على ظروف معيشية أفضل. وعلى أية حال، فنحن البشر لا نتمتع بالمرونة نفسها في التحكم في استقلابنا. ومن الطبيعي أن تحدث بعض الآثار الفورية في بعض من يقومون بحرمان أنفسهم من الطعام اختياريّا، ولكن الأمر يحتاج إلى وقت – سنوات عديدة من الجوع – حتى يتضح إن كان لذلك أثر في مسيرة الشيخوخة، وبشكل خاص، طول العمر. وعلى أية حال، فإن هدف أبحاث الشيخوخة في الإنسان، هو تحسين صحته في أواخر عمره، وليس إطالة عمره مثل عُمر **متشولح**[1].

وهناك أمر آخر، في منتهى الوضوح، فجميع الديدان والذباب والفئران المطولة أعمارها، مرت بمراحل الشيخوخة. غير أن هذه الشيخوخة تحدث بسبب تراكم التلف حتى يأتي الوقت الذي تنهار فيه وظائف الجسد الصحية. ومن ثم، إذا أردنا في الواقع لنهايتنا أن تكون أفضل، فعلينا البحث في مناطق أخرى. ويتعين علينا – على وجه الخصوص – التركيز على إيجاد وسيلة آمنة للحد من التلف وتراكمه أو عكس مساره؛ ذلك التلف الذي يؤدي في النهاية إلى الهشاشة والعجز والمرض. ويمثل هذا الهدف أحد التحديات الكبرى اليوم، ويدعو إلى تضافر جهود الأبحاث المشتركة من مختلف التخصصات.

لا توجد إجابات سهلة(*)

إن عملية الشيخوخة معقدة. وهي تصيب الجسد على جميع المستويات، من الجزيئات إلى الخلايا والأنسجة؛ كذلك فهي تتضمن الإضرار بعدد كبير من الجزيئات والأنسجة. وبصفة عامة، وعلى الرغم من حقيقة تراكم الضرر مع تقدم العمر، وأنه يحدث بمعدل أبطأ في بعض الخلايا عن غيرها (اعتمادا على مدى كفاءة أنظمة الإصلاح)، فإن إصابة أي خلية معينة، تحدث عشوائيّا، ويمكن أن تتفاوت شدة الضرر حتى بين خليتيْن متشابهتيْن لدى الشخص نفسه. وبناء على ذلك، فالجميع تصيبهم الشيخوخة ويموتون، ولكن الآليات تختلف كثيرا، وهو ما يضفي مزيدا من التأكيد إلى أن الشيخوخة لا تنشأ نتيجة برنامج جيني يحدد سرعة وصولنا إلى الوهن والوفاة. أما من أجل فهم تفاصيل كافية عن الشيخوخة؛ بحيث يمكن التدخل بأسلوب مناسب، يستهدف إبطال أو إبطاء نوع محدد من الخلايا، فيتعين علينا معرفة الطبيعة الجزيئية للأعطاب التي تحدث على مستوى الخلية وتدلف بها إلى الشيخوخة. فكم عدد العيوب التي يجب تراكمها قبل أن تعجز الخلية عن الاستمرار بوظائفها؟ وكم من الخلايا العليلة يجب أن يتراكم قبل أن تتبدى على أحد الأعضاء مظاهر المرض؟ وإذا اتفقنا على أهمية استهداف بعض الأعضاء أكثر من غيرها، فكيف نوفر الدقة اللازمة عند القيام بالتدخل؟

قد يكون ممكنا محاربة الشيخوخة بتعديل بعض الآليات التي تستخدمها الخلايا من أجل إبطال تراكم التلف. وجدير بالذكر أن إحدى الوسائل التي تستجيب بها الخلايا لكثرة تعرضها للإنهاك والبلى، هو أن تقتل نفسها؛ وقد رأى العلماء يوما أن هذا الإجراء الخلوي والمعروف علميّا باسم **أبوپتوسيس** apoptosis يمثل دليلا على ارتباط الشيخوخة ببرنامج جيني معين. هذا، ويزيد معدل انتحار الخلايا في الأنسجة المسنة، وهو ما يسهم – في حقيقة الأمر – في حدوث الشيخوخة. ولكننا نعلم الآن أن انتحار الخلايا يعمل في الأساس كإحدى آليات حماية الجسد «الأكبر» من الخلايا المصابة التي يمكنها – بصفة مبدئية – إحداث مشكلات جسيمة، وخصوصا تلك الخلايا التي تحولت إلى خلايا سرطانية.

ويحدث انتحار الخلايا بشكل أوسع في الأعضاء المسنة؛ حيث تكون خلاياها قد تعرضت للكثير من الأذى. وحَرِيٌّ

المؤلف



Thomas Kirkwood

أستاذ الأمراض الباطنية ومدير معهد الشيخوخة والصحة بجامعة نيوكاسل في إنكلترا. ومن الكتب التي ألّفها، كتابه بعنوان «Time of Our Lives: The Science of Human Aging» *والذي كتبه من أجل القارئ العام، وكذا كتاب* «Chance, Development and Aging» *(بمشاركة C. فينش) الذي يرصد فيه كيفية التفاعل بين الصدفة الداخلية والجينات والبيئة لتشكيل أسلوب نمو جسدنا وتطوره وشيخوخته.*

(*) No Simple Answers

(1) جد النبي نوح – عليه السلام – عاش نحو ألف عام حسب رواية العهد القديم. (التحرير)

بنا أن نذكر أن الحيوانات في الطبيعة نادرا ما تعيش طويلا حتى تصل إلى الشيخوخة. وقد تشكلت ظاهرة انتحار الخلايا للتعامل مع الخلايا التالفة في الأعضاء الشابة؛ حيث يتعين التخلص من عدد كبير من هذه الأقليات. فإذا ماتت خلايا كثيرة، فشل العضو في أدائه، أو أصبح منهكا. ولهذا فإن انتحار الخلايا يحمل في طياته الجانبيْن معا، الجيد والسيئ. فهو جيد عندما يتخلص من الخلايا ذات الخطورة الكامنة، وسيئ عندما يتخلص من عدد كبير من الخلايا. هذا، وتهتم الطبيعة بالإبقاء على شباب الخلايا أكثر من اهتمامها بمعالجة الضعف في السن المتقدمة؛ لذلك لا تعد جميع حالات انتحار الخلايا ضرورية في سنواتنا المتأخرة. ويأمل الباحثون بأن يتوصلوا في بعض الأمراض – مثل السكتة الدماغية – إلى وسيلة تضع حدّا لانتحار الخلايا الأقل تلفا؛ وبذلك يقل فقدان الخلايا الناجم عن السكتة ويتدعم الشفاء.

وبدلا من الموت، قد تقوم الخلايا القادرة بطبيعتها على التكاثر – في حالة إصابتها بأذى – باتخاذ مسار أقل حدة؛ حيث توقف ببساطة عملية الانقسام، وهو الأمر المعروف باسم: **شيخوخة التكاثر** replicative senescence. وقبل خمسين عاما، اكتشف <L. هايفليك> [الذي يعمل الآن بجامعة كاليفورنيا في سان فرنسسكو] أن الخلايا تميل إلى الانقسام في حدود عدد معين من المرات؛ – وهو المعروف الآن باسم «**حدود هايفليك**»(1) – ثم تتوقف بعده عن الانقسام. وقد أظهرت الأبحاث بعد ذلك أن الخلايا تتوقف عن الانقسام عندما تبلى الأغطية، أو **القسيمات الطرفية**(2) telomeres التي تقي الكروموسومات من التآكل، ولكن سائر تفاصيل شيخوخة الخلايا مازالت غير واضحة حتى الآن.

لقد قمت حديثا مع زملائي بتحقيق اكتشاف مثير. فقد وجدنا أن لكل خلية دوائر جزيئية معقدة لمراقبة مستوى التلف في كل من الدنا، وكذا في وحداتها المسؤولة عن توليد الطاقة والمعروفة باسم **المتقدرات** mitochondria. وعندما تتعدى كمية التلف حدّا معينا، تحبس الخلية نفسها في حالة تسمح لها بأداء بعض الوظائف النافعة للجسم، ولكنها لا تنقسم إطلاقا بعد ذلك. وكما في حالة الانتحار الخلوي، لعل ميل الطبيعة نحو دعم حياة الشباب، يعني عدم الضرورة الصارمة لجميع هذه القيود والأقفال. ولكن إذ كان لنا أن نَفُضَّ الأقفال، معيدين بذلك بعض قدرة الخلايا المسنة على الانقسام، دون إطلاق مخاطر السرطان، فعلينا أن نفهم – بكل دقة – تفاصيل عملية شيخوخة الخلايا.

وقد تطلب العمل العلمي المضني اللازم لهذا الاكتشاف، تكوين فريق متعدد التخصصات، يضم اختصاصيين في البيولوجيا الجزيئية والكيمياء الحيوية والرياضيات وعلم الحاسوب، كما تطلب استخدام آخر ما توصلت إليه المعدات المختبرية لتصوير التلف في الخلايا الحية. أما إلى أين يمكن أن تقودنا مثل هذه الاكتشافات، فلا علم لنا بذلك حتى الآن. ولكننا نأمل في مثل هذا النوع من الدراسات، تحديد أدوية جديدة يمكنها التصدي لأمراض مرتبطة بالشيخوخة، بأساليب جديدة تماما؛ مما يقلل زمن الاعتلال الصحي في نهاية العمر. ولكن صعوبة إجراء هذا النوع من الأبحاث الأساسية، تعني احتمال مرور سنوات أو عقود عدة، قبل ظهور هذه الأدوية في الأسواق.

ويمثل استخدام علم الشيخوخة لتحسين نهاية الحياة، تحديا كبيرا، بل لعله التحدي الأكبر الذي واجه العلوم الطبية حتى الآن. ولن تأتي الحلول بسهولة، على الرغم من مزاعم تجار الخلود الذين يؤكدون إمكانية إطالة أعمارنا من خلال تحديد الكالوريات، أو استخدام بعض المكملات الغذائية مثل المادة «**ريسفيراترول**» resveratrol. وسيحتاج الأمر إلى أعلى درجات الإبداع البشري لمواجهة هذا التحدي. وأعتقد أننا سنتمكن من التوصل إلى علاجات موجهة نحو تخفيف سنواتنا الأخيرة. ولكن عندما تأتي النهاية، فعلى كل منا – على حدة – قبول حقيقة أن الموت مقدر عليه. إذن علينا بالمزيد من المنطق أن نركز على حياتنا، وأن نحيا كأفضل ما يمكن؛ فلا يوجد شراب سحري لإنقاذنا. ■

(1) the Hayflick Limits
(2) أو الانتهائية.

مراجع للاستزادة

How and Why We Age. Leonard Hayflick. Ballantine Books, 1994.

Understanding Ageing. Robin Holliday. Cambridge University Press, 1995.

Why We Age: What Science Is Discovering about the Body's Journey through Life. Steven N. Austad. John Wiley and Sons, 1999.

Understanding Ageing from an Evolutionary Perspective. T. B. Kirkwood in *Journal of Internal Medicine,* Vol. 263, No. 2, pages 117–127; February 2008.

The End of Age. Thomas Kirkwood. BBC Reith Lectures. **www.bbc.co.uk/radio4/reith2001**



عَلّق على هذه المقالة في الموقع الإلكتروني: www.ScientificAmerican.com/TheEnd

Scientific American, September 2010

أدوية الدنا تدخل حقل التجارب السريرية(*)

بعد سنوات من البدايات المتعثرة، دخلت أجيال جديدة من اللقاحات والأدوية لڤيروس عوز (نقص) المناعة البشرية المكتسب والإنفلونزا وبعض الأمراض المستعصية الأخرى حقل التجارب السريرية.

<M. P. مورو> – <D. B. واينر>

مفاهيم مفتاحية

- كانت اللقاحات والعلاجات المحتوية على حلقات الدنا DNA تدعى البلازميدات واعدة في العلاج والوقاية من الأمراض، ولكن البلازميدات لم تُظهر سوى فعالية ضعيفة في اختباراتها المبكرة.
- إن تحسينات أجريت على البلازميدات، وطرقا جديدة لتوصيلها أدت إلى تحسن كبير في فعاليتها.
- تبدي اللقاحات والعلاجات المبنية على الدنا في التجارب على الحيوان أو في مراحلها الأخيرة على الإنسان أن البلازميدات حققت قدرتها.

محررو ساينتفيك أمريكان

بعد عشر سنوات من المواجهة التنافسية اختبر علماء من المعاهد الوطنية للصحة نوعين واعدين من اللقاحات الحديثة، لمعرفة أيهما يمنح الحماية الأقوى لأكثر الڤيروسات فتكا في العالم وهو **ڤيروس عوز (نقص) المناعة البشرية المكتسب** (HIV)[1] المسبب **للإيدز** (AIDS)[2]. أحد هذين اللقاحين كان مكونا من حلقات **الدنا** DNA تدعى **البلازميدات**[3] تحمل كل واحدة منها **جينا** gene لواحد من البروتينات الخمسة للڤيروس HIV. وكان الهدف هو حمل الخلايا الذاتية لمُتلقي اللقاح على تصنيع بروتينات الڤيروس على أمل أن تحرض هذه البروتينات حدوث تفاعلات في الجهاز المناعي. وفي المقابل استخدم في تحضير اللقاح الثاني ڤيروس آخر يسمى **الڤيروس الغُدِّيّ** adenovirus كحامل للجين HIV الذي يُكوِّد للبروتين الڤيروسي. والأساس المنطقي لهذه الخلطة هو استخدام ڤيروس آمن لجلب انتباه الخلايا المناعية، في حين يُوجه رد فعلها ضد بروتين الڤيروس HIV.

لقد كان أحدنا (وهو <واينر>) يعمل على لقاحات الدنا لثماني سنوات، وكان يأمل بالحصول على دليل مهم حول قدرة البلازميد على تحريض المناعة ضد **المُمْرِض** pathogen المخيف. وبدلا من ذلك، أدت نتائج الاختبار إلى خيبة أمل كبيرة للذين اعتقدوا بهذا الجيل الأول من لقاحات الدنا. فالأفراد الذين تلقوا لقاح الدنا بعض منهم تشكلت لديهم استجابات مناعية ضعيفة ضد البروتينات الخمسة للڤيروس HIV، وآخرون لم يستجيبوا على الإطلاق، في حين تكونت لدى الأفراد الذين تلقوا اللقاح المبني على الڤيروس الغدّيّ تفاعلات مناعية قوية. وبدا هذا الڤيروس للعلماء ولباحثي شركات الأدوية المرشح الأقوى الذي يجب تطويره للحصول على لقاحات ضد الڤيروس HIV.

لم تكن النتائج مفاجئة تماما لباحثي لقاح الدنا، لأن ردود فعل ضعيفة كانت قد شوهدت في بعض التجارب السابقة. ولكن الفشل كان مخيبا للأمل؛ لأنه كانت لدينا أسباب وجيهة لتوقع أن لقاح البلازميد آمن وفعال في آن واحد. ولقناعتهم بقوة الفكرة الأصلية عاد الباحثون إلى

(*) العنوان الأصلي: أدوية الدنا تبلغ سِنَّ الرشد DNA DRUGS COME OF AGE
(1) the human immunodeficiency virus
(2) متلازمة العوز المناعي المكتسب acquired immunodeficiency syndrom
(3) plasmids



مخططات بحثهــم محاولــين إيجاد طرق لدعم فعالية هــذه التقانة. والآن بدأت هذه الجهود تثمر. فقد ظهــرت فعالية لقاحات من جيــل جديد مبنية علــى البلازميد في تجارب على الحيوان والإنسان، وذلك لأنها تســتطيع تحريض ردود الفعل المطلوبة مع كونها آمنــة ولتمتعها بفوائد أخرى تجعل الدنا مشجعا جدا. وتوسعت التقانة نفسها المبنية على الدنا لتشمل أشكالا أخرى من العلاج المناعي والتوصيل المباشر للأدوية. إن اللقاحات والعلاجات المعتمدة على الدنا في شــكلها الناضج اكتســبت نجاحا عن

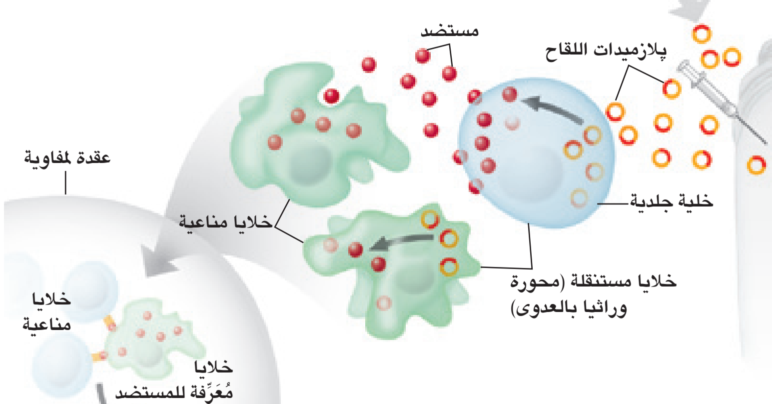
[أساسيات]

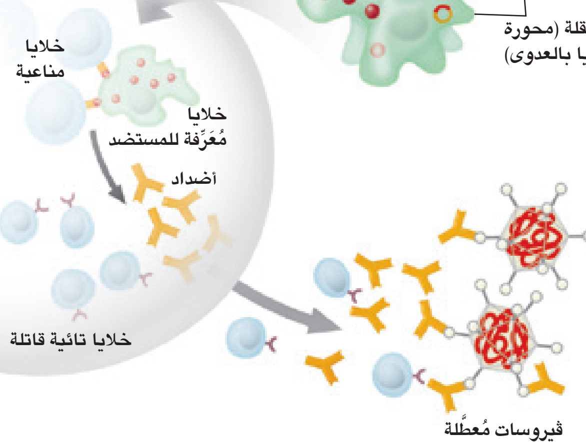
كيف تعمل أدوية الدنا(*)

سواء كانت أدوية الدنا مخصصة للوقاية أو للعلاج، فإنها مكونة من پلازميدات – حلقات دقيقة من الدنا – مصممة لنقل جين منتخب إلى الخلايا. وبمجرد دخول الپلازميدات إلى داخلها تبدأ الخلايا بتصنيع البروتين المكود بالجين. ففي حالة لقاح الدنا المضاد للفيروس *(الرسم التوضيحي)*، تحرض البروتينات الفيروسية الناتجة الاستجابة المناعية التي تمنع الإصابة المستقبلية بذلك الفيروس.

تصنيع بروتينات اللقاح

عندما يحقن لقاح الدنا في الجلد، فإن مكوناته تخترق أو تُعدي **transfects** خلايا الجلد وبعض الخلايا المناعية. وتقوم الخلايا المصابة بتصنيع بروتين الفيروس المكود في الپلازميد الذي يدعى بالمستضد **antigen**. وتبتلع الكثير من الخلايا المناعية بروتينات المستضد خلال إثارتها هذه الخلايا.





استجابة الخلايا المناعية

تهاجر الخلايا المناعية الحاملة للمستضد، التي تعرف بالخلايا المُعرفة للمستضد، إلى العقد اللمفاوية حيث يؤدي التفاعل مع خلايا مناعية أخرى إلى توليد أضداد (أجسام مضادة) **antibodies** وخلايا لمفاوية تائية قاتلة نوعية تتعرف البروتين الفيروسي، وتهاجم أي فيروس يحملها في المستقبَل.

طريق توجهها إلى حل العديد من الحالات التي ينقصها حاليا علاج ناجح.

فكرة جيدة في الماضي والحاضر(**)

عندما بدأ مفهوم استخدام الدنا لتحصين الناس يكتسب اهتماما في أوائل التسعينات من القرن الماضي، فإن بساطته اللافتة للنظر كانت جلية. فالمكون الرئيس للقاح – الپلازميد شكل لحمل جينات تكود لبروتين أو أكثرٍ من بروتينات المُمْرِض – يُحرض خلايا المستقبِل على تصنيع هذه البروتينات، ولكنه لا يحمل تعليمات لتصنيع كامل المُمْرِض، وهكذا فإن اللقاح لا يمكن له أن يؤدي إلى المُمْرِض بحد ذاته.

عندما تدخل الپلازميدات **خلية عائلة** host cell، وهذا ما يدعى **التحول الوراثي بالعدوى**(1) **(الاستنقال الوراثي بالعدوى)** transfection، تبدأ الآليات التي تفك رموز الدنا عادة بقراءة الجين المحمول على الپلازميد، وتقوم بتصنيع البروتين المطلوب الذي بدوره يتحرر من الخلايا بالطريقة نفسها التي تتحرر بها أجزاء الفيروس. وخارج الخلية تتعرف الخلايا المناعية بروتيناتِ المُمْرِض النوعية كأجسام غريبة عن الجسم. وهكذا، يمكن خداع جهاز المناعة بجعله يظن أن الجسم يتعرض لعدوى، مشجعا التعرف والاستجابات المناعية على المدى البعيد ضد البروتين الغريب. وهكذا، فإن تعرّفٍ حلقة دنا حاملة لجين واحد يمكن من تحريض مناعة باستطاعتها حماية الجسم من ممرض كامل.

إضافة إلى كونها آمنة وبسيطة، فللقاحات الدنا ميزات مقارنة بأنواع اللقاحات الأخرى. فتصنيعها أسرع بكثير من بعض اللقاحات التقليدية مثل لقاح الإنفلونزا الذي يتطلب التعامل مع فيروسات حية وزراعتها، ويحتاج إلى أربعة أو ستة أشهر على الأقل لإنتاجه. إن الدنا بطبيعته ثابت في حرارة الوسط المحيط (من حسن حظ خلايانا)، ولذلك فإن لقاحات الدنا لا تحتاج تبريدا مستمرا، وهذا أمر يستدعي الاهتمام خلال نقل وتخزين لقاحات عديدة.

ومن وجهة نظر مصمم اللقاحات، فإن الدنا له ميزة أخرى أدت دورا كبيرا في السنوات الأخيرة في إعادة الاهتمام بهذه التقانة. فالجهاز المناعي لا يتعامل مع

(*) HOW DNA DRUGS WORK
(**) A Good Idea, Then And Now
(1) أو الخمج.

البلازميدات كأجسام غريبة – لأنها في النهاية مكونة من الدنا – ومن ثَمّ فإن اللقاح من الناحية التقنية لا يحرض أي ردة فعل مناعية. فالبروتين المكوَّد في جين البلازميد فقط يقوم بالاستحواذ على انتباه حُراس المناعة حالما بُني بالخلايا، فهذا يعني أن البلازميد يمكن استخدامه مرات عديدة في المستقبل نفسه لتوصيل جينات مختلفة دون خوف من أن يُكوّن الجسم مناعة ضد حامل الدنا ويهاجم اللقاح بحد ذاته.

لسوء الحظ، فإن الاستجابات المناعية الضعيفة التي ظهرت عند اختبار لقاحات الدنا المبكرة كانت شَرَكا لا يستهان به. ويبدو أن الأسباب الأساسية لهذه الإخفاقات هي أن بلازميدات اللقاح لم تكن تستطيع الولوج في عدد كاف من الخلايا، وفي الأماكن التي ولجت فيها فإن الخلايا لم تكن تنتج كميات كافية من البروتينات المكوّدة. ومن ثَمّ، فإن الجهاز المناعي لم يكن يُحرَّض بشكل كاف.

أما التقانة المنافسة، فكان من المتوقع لها أن تواجه صعوبات أكبر. ومع ذلك، ففي عام 2007 قامت شركة الدواء ميرك Merck بإطلاق تجربة واسعة للقاح مضاد للفيروس HIV استخدم فيروسا غديا يدعى **أدهو 5** AdHu5 لتوصيل جينات للفيروس HIV. وفي ضوء الاستجابات المناعية القوية التي شوهدت في التجارب السابقة على الفيروس الغدي، فإن آمالا كبيرة أحاطت بداية هذه التجربة التي سميت التجربة ستيب STEP. وأُعْطي تقريبا لـ3000 شخص خالٍ من الفيروس HIV اللقاح أو حقنة **غُفل (عديمة الفعالية)** placebo.

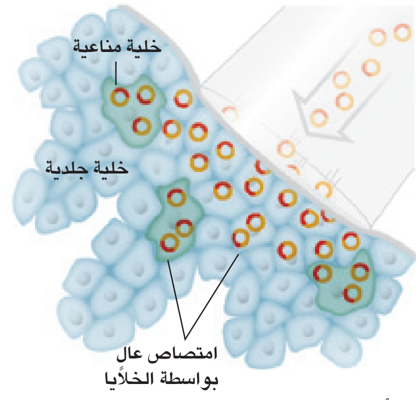
ومع تقدم التجربة ظهر فرق مزعج بين المجموعتين، فالأشخاص الذين تلقوا اللقاح لم يكونوا محميين بصورة أفضل من الذين تلقوا الجرعة الغفل، وتبين أنهم أكثر عرضة للإصابة بالفيروس HIV. وقد بَيَّن سجل مبكر للتجربة أن 49 رجلا من أصل 914 في مجموعة اللقاح أصبحوا مصابين بالفيروس HIV، في حين أصيب 33 رجلا من أصل 922 في المجموعة التي تلقت الجرعة الغفل. وفي صيف 2009 تقرر إيقاف التجربة ستيب بعد ظهور هذه النتائج. ومازالت البيانات تخضع للتحليل بهدف إيجاد تفسير لما حصل، ولكن توجد أدلة تشير إلى أن وجود حاملين أصحاء للفيروس «أدهو5» قد يكون عاملا مربكا. فعند الأشخاص الذين لديهم مناعة سابقة

[التطور]

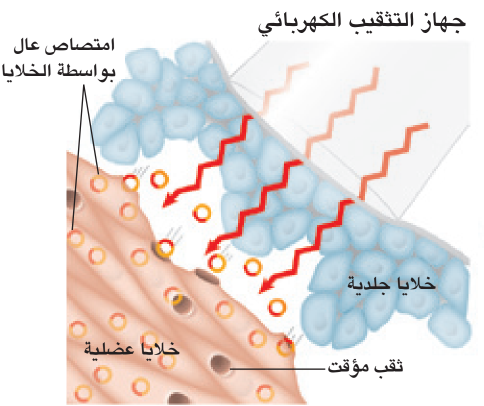
دعم قوة الدنا(*)

جددت التقانات التي تزيد فعالية اللقاحات والعلاجات المبنية على البلازميد الأمل بنجاح المقاربة باستخدام الدنا. فالتحسينات التي أدخلت تزيد من امتصاص الخلايا للبلازميدات، وتزيد من إنتاج البروتينات المكوَّدة في البلازميدات، وتحفز استجابات الجهاز المناعي لهذه البروتينات.

الوصول المُعزز



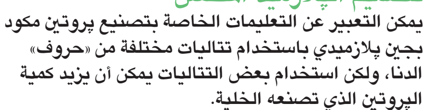
تُوصل أنظمة الحقن من دون إبرة اللقاحَ إلى داخل الجلد حيث تتركز الخلايا المناعية. وتدفع هذه الحاقنات المزيد من البلازميدات مباشرة داخل الجلد وإلى الخلايا المناعية مقارنة بالحاقنات المزودة بإبرة.



إن التحريض الكهربائي المعتدل الذي يدعى التثقيب الكهربائي، يمكن له دعم امتصاص الخلايا للبلازميدات التي حُقنت بالحاقن المزود بإبرة. وتسبب الموجات الكهربائية فتح ثقوب في الجدار الخلوي لمدة قصيرة تسمح للبلازميدات بالعبور.

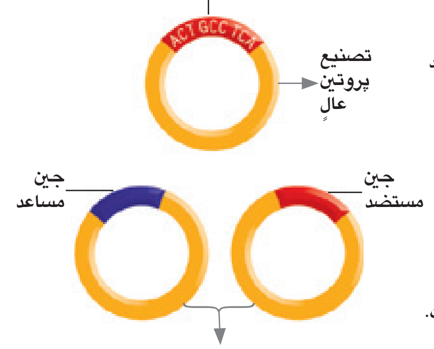
تصميم البلازميد المُحسن

يمكن التعبير عن التعليمات الخاصة بتصنيع بروتين مكوَّد بجين بلازميدي باستخدام تتاليات مختلفة من «حروف» الدنا، ولكن استخدام بعض التتاليات يمكن أن يزيد كمية البروتين الذي تصنعه الخلية.



تحريض مناعي مُحسَّن

إن المواد المحرضة للخلايا المناعية التي تدعى مساعدات **adjuvants** يمكن تكويدها بإضافة جينات إلى البلازميدات. وإلى جانب المستضدات تحفز المساعدات الاستجابات المناعية لمستضدات اللقاح.



(*) BOOSTING DNA'S POWER

للڤيروس أدهو5، وهو ڤيروس يسبب الزكام، فإن الجهاز المناعي يهاجم اللقاح نفسه. ولكن لماذا أصبح بعض الأشخاص الذين تلقوا اللقاح أكثر استعدادا للإصابة بالڤيروس HIV، فذلك أمر غير واضح بعد.

الولادة الجديدة للدنا(*)

وخلال السنوات التي سبقت التجربة ستيپ كان الباحثون المقتنعون بإمكانية تطوير مشروع العلاج بالدنا يعملون على تطوير حلول للمشكلات المعقدة التي أعاقت لقاحات البلازميد من الجيل الأول. وقد ركزت هذه الجهود على تقوية جميع مظاهر فعالية البلازميدات بما في ذلك الطرق الحديثة لإدخالها إلى الخلايا، وإضافات إلى اللقاحات التي تحفز استجابة الجهاز المناعي للبروتينات المكوّدة في اللقاح.

إن الطرق الجديدة لإيصال اللقاح هي من بين الإنجازات الأكثر أهمية التي يتوقع صدورها عن هذا العمل، لأنها تستطيع تجنيد عدد كبير جدا من الخلايا - بما فيها الخلايا المناعية - لامتصاص البلازميدات. مثلا، اللصاقات الجلدية والأنظمة الأخرى التي **لاتعتمد الحَقْن بالإبر**(1) مثل **البندقية الجينية**(2) و**جهاز الحقن الحيوي التلقائي** biojecet الذي يعتمد على الهواء المضغوط لحقن اللقاح، تقوم جميعها بإيصال البلازميدات إلى الجلد بتركيز عال حيث توجد الخلايا الحارسة المناعية التي تدعى **خلايا مُعرِّفة للمستضد** antigen-presenting cells. وهذه الوسائل تدفع البلازميدات فيزيائيا إلى داخل الكثير من الخلايا مقارنة بطريقة إبر الحقن. وللوصول إلى نتائج مماثلة باستخدام إبر الحقن في العضل أو تحت الجلد يمكن إتباع الحقنة باستخدام تقنية **التثقيب الكهربائي** electroporation، وهي مجموعة من النبضات الكهربائية تسبب - مؤقتا - فتح منافذ في جدران الخلايا لتسمح للبلازميدات بالدخول إليها بسهولة أكبر.

ويمكن للتثقيب الكهربائي أن يزيد امتصاص الخلايا للبلازميدات إلى مدى ألف مرة. وقد حُسِّنت تراكيب الجين - البلازميد من خلال تقنيات عدة تُغير تتالي الدنا في الجين المحمول. إن **إمثال الكودون** codon optimization يتضمن عرضه التعليمات الوراثية بحيث تستطيع الخلايا تنفيذها بسرعة أكبر. وفي **الكود الجيني** genetic code، تتحدد الأحماض الأمينية البانية لكتل البروتين بمجموعات من ثلاثة أحرف دنا تُشكل الكودون. فبعض الأحماض الأمينية يُحددها أكثر من كودون، ولكن الخلايا عادة تفضل واحدا من هذه الكودونات المترادفة، وتترجمه بفعالية أكبر من الكودونات الأخرى. وهكذا، فاختيار الكودونات المثالية يزيد من إنتاج الخلية للبروتين المطلوب. والمراجعات الإضافية لتتالي الجين تُحسن ثبات ودقة نسخ الجين **للرنا** RNA المرسال الذي تقرؤه الخلية حين تصنع البروتين.

إن ما يسمى التتالي القائد الذي يوجد قرب بداية كل جين هو التتالي الأول الذي تترجمه الخلية كبدايات في تصنيع جزيء البروتين، كما أنّ تحسين تتالي الجين القائد يمكن أن يزيد ثبات جزيئات البروتين النهائية. وبعض التتاليات القائدة تستطيع تعليم بروتين ما على أنه البروتين الذي يجب أن تفرزه الخلية، وهذا أمر مرغوب فيه لأنه يسمح للخلايا المناعية بلقاء البروتينات الغريبة داخل وخارج الخلايا المستنقَلة (المحورة وراثيا بالڤيروس). وكلتا الحالتين تحرضان أنواعا مختلفة قليلا من الاستجابة المناعية، ويؤدي اتحادهما إلى تحفيز المناعة التي سببها اللقاح بالكامل.

(*) The Rebirth Of DNA

(1) needle - free

(2) gene gun





Matthew P. Morrow   David B. Weiner

يعملان معا في جامعة پنسلڤانيا، حيث يشغل <مورو> منصب زميل أبحاث لمرحلة الاختصاص. قادته أبحاثه على الڤيروس HIV لمدة 10 سنوات تقريبا إلى التركيز حاليا على لقاح الدنا والعلاجات المناعية. أما <واينر> فهو أستاذ طب وأمراض، ومسؤول عن البرنامج الجامعي للاختصاص في اللقاحات والعلاج الجيني. وهو أحد رواد تقانة لقاح الدنا، وهو أول من أوصل اللقاحات الأولى المبنية على البلازميد إلى الدراسات السريرية، وكان مستشارا لمنظمة الغذاء والدواء FDA وللعديد من شركات اللقاح والأدوية التي تنتج أدوية مبنية على تقانة البلازميد.

يتضمن التحسين المهم الأخير موادّ تدعى **مساعِدات** adjuvants، وهي تضاف عادة إلى اللقاحات التقليدية لدعم استجابات الجهاز المناعي. وفي بعض الحالات يستطيع المساعِد أن يقود الجهاز المناعي باتجاه استجابة واحدة على حساب الأخرى عند الرغبة في ذلك، وهكذا يشجع إنتاجا أكبر **للخلايا التائية** T cells التي تقوم بالبحث عن الخلايا المصابة بالمُمْرِض وقتلها، وذلك بعكس الإنتاج الأكبر لبِروتينات **الأضداد** antibodies التي تحاول منع المُمْرِض من دخول الخلايا. فمثلا أبدت مادة كيميائية تدعى **ڤاكسفكتن** vaxfectin قدرتها على زيادة استجابة الأضداد للقاح الدنا الموجه ضد الإنفلونزا 200 مرة. ويستعمل مساعِد آخر هو **الريسيكيمود** resiquimod مع بعض لقاحات الدنا الأخرى لتحريض تفاعل مناعي قوي يتضمن تفعيل كلٍّ من الخلايا التائية والأضداد.

وهناك تقانة مغرية أخرى مبنية على الدنا، وفيها عوضا عن إضافة مساعدات إلى تركيبة اللقاح النهائية، والتي تسبب أحيانا بعض المتاعب المتعلقة بالحفاظ على استحلاب مناسب أو ثبات المركب، يمكن للمصممين إدخال جين لجزيء المساعد مباشرة في تركيب البلازميد المخصص للقاح. وعندها تقوم الخلايا التي تمتص البلازميدات بتصنيع المساعد المكوَّد، إضافة إلى بروتينات اللقاح. وعند إضافة الجين المكود للمساعدات إلى لقاحات الدنا، أو حتى عند تحسين البلازميد المذكور آنفا، فإن المساعد يمكنه زيادة الاستجابات المناعية خمس مرات أو أكثر.

هذه اللقاحات البلازميدية المصممة هي صيحة جديدة مقارنة بالتركيبات البروتينية المكودة البسيطة في السنوات المبكرة لمشروع الدنا. فالتقانة بواسطة البلازميدات وطرق التوصيل المُحسنة كانت جاهزة لعودة مجددة عند بداية التجربة ستيپ. إضافة إلى ذلك، بدت المقاربة باستخدام تقانة الدنا، واعدةً من حيث الاستخدام في أمور تجاوزت اللقاحات التقليدية، ومنها توصيل بعض الأدوية باستخدام البلازميد، والعلاجات المناعية للسرطان.

تقانة متعددة الأهداف(*)

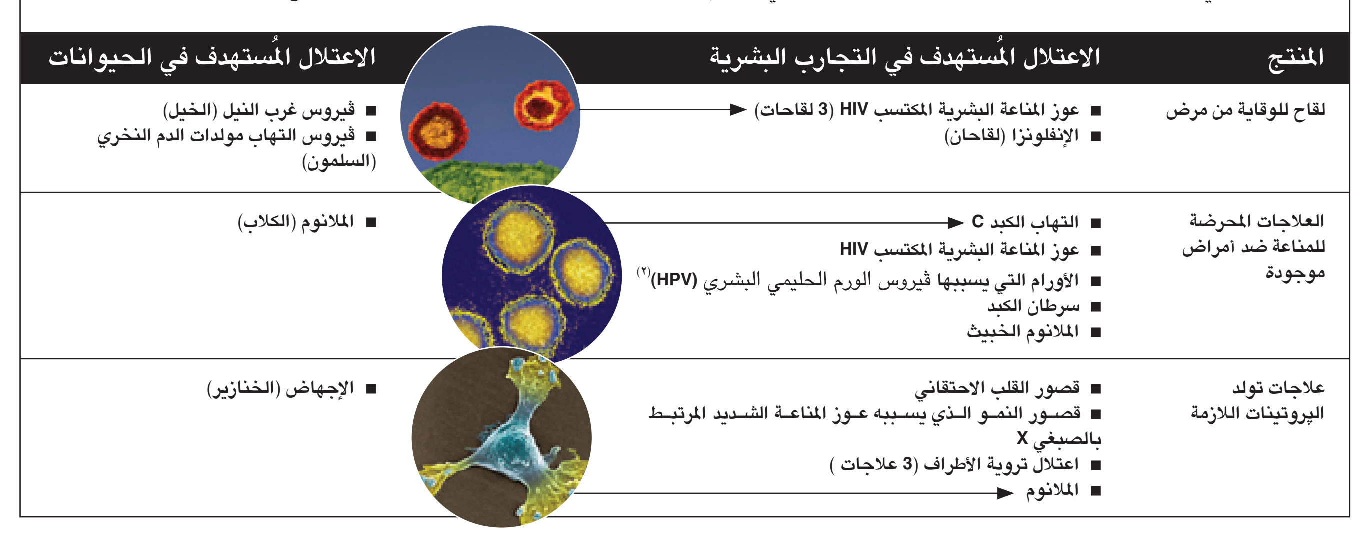
إن القدرة على توصيل الجينات إلى داخل الخلايا بأمان، وجعل هذه الخلايا تصنع البروتينات المكودة بكفاءة، تفتح آفاقا للعديد من العلاجات الممكنة. وفي الواقع نجد أن كثيرا من العلاجات المبنية على تقانة الدنا قد سبقت لقاحات الدنا في سباق الاستخدام السريري الواسع. وبخلاف الأدوية التقليدية التي تتكون عادةً من جزيئات كيميائية صغيرة، تُوصِل علاجات الدنا جينا لعلاج حالة مرضية. وبشكل مغاير للعلاج الجيني التقليدي، فإن البلازميد لا يندمج بشكل دائم في **الجينوم** genome الخلوي لمتلقي العلاج، أو يبقى دائما في الخلايا، الذي يُجنب التعقيدات التي أعاقت تطور العلاجات الجينية.

وكما هو الحال مع التقانات الحديثة، فإن النجاحات المبكرة للعلاجات المبنية على البلازميد كانت على الحيوانات. ومثال ذلك الدواء المصرح باستخدامه عند الخنازير للوقاية من الإجهاض. يدخل البلازميد إلى إناث الخنازير الحوامل بتقانة التثقيب الكهربائي للخلايا التي تقوم بدورها بتصنيع هرمون (**الهرمون المحرر لهرمون النمو**[1]) يقوم بدعم بقاء الأجنة في الرحم على قيد الحياة. جزئيا، إن نجاح هذا العلاج مثير لأنه يتطلب حقنة وحيدة ليعمل في هذا الحيوان الكبير الحجم، وهذا يبشر بالخير للاستخدامات البشرية.

(*) A Multipurpose Technology
(1) growth hormone - releasing hormine

إيضاح إمكانات الدنا(*)

إن العلاجات واللقاحات المبنية على البلازميد هي قيد الدراسة في الإنسان لطَيْف واسع من الاعتلالات، وبعضها سُمح باستخدامه على الحيوان. ويُبين الجدول التالي مختارات من بعض الأمراض المعالجة بمنتجات في تجارب سريريّة بشرية أو بمركبات سُوقت من قبل لعلاج الحيوانات.



المنتج	الاعتلال المُستهدف في التجارب البشرية	الاعتلال المُستهدف في الحيوانات
لقاح للوقاية من مرض	■ عوز المناعة البشرية المكتسب HIV (3 لقاحات) ■ الإنفلونزا (لقاحان)	■ ڤيروس غرب النيل (الخيل) ■ ڤيروس التهاب مولدات الدم النخري (السلمون)
العلاجات المحرضة للمناعة ضد أمراض موجودة	■ التهاب الكبد C ■ عوز المناعة البشرية المكتسب HIV ■ الأورام التي يسببها ڤيروس الورم الحليمي البشري (HPV)[٢] ■ سرطان الكبد ■ الملانوم الخبيث	■ الملانوم (الكلاب)
علاجات تولد البروتينات اللازمة	■ قصور القلب الاحتقاني ■ قصور النمو الذي يسببه عوز المناعة الشديد المرتبط بالصبغي X ■ اعتلال تروية الأطراف (3 علاجات) ■ الملانوم	■ الإجهاض (الخنازير)

حاليا، مازال العديد من التجارب الكبيرة لعلاجات الدنا على البشر قيد الاختبار (*انظر الجدول في هذه الصفحة*)، وتشمل علاجا يوصل جينات لبروتينات تدعى **عوامل النمو** growth factors، حيث تُجند الخلايا الجذعية لعلاج قصور القلب الاحتقاني. وآخر يستخدم بلازميدا يكود لعامل نمو يدعى **عامل النمو الشبيه بالأنسولين** IGF-1 يعالج فشل النمو في المرضى المصابين بعوز المناعة المركب الشديد المرتبط بالصبغي X. وتوجد تجربة ثالثة تتعلق بمشكلة دوران الدم التي يمكن أن يكون علاجها صعبا إلى حد كبير، وهي النقص الحرج **لتروية الطرف بالدم** limb ischemia. ويوصل هذا العلاج عوامل مكوَّدة في البلازميد تحرض الأوعية الدموية الجديدة على النمو، وذلك على أمل الوقاية من بتر الأطراف.

وهناك فئة أخرى من العلاجات تعرف **بالعلاج المناعي الحيوي المبني على الدنا**[١]، وفيها مشاركة بين أفضل وجوه العلاج بالدنا واللقاحات، وذلك بإيصال جين يحث الجسم على رفع استجابته المناعية لمرض موجود، مثل ورم أو التهاب ڤيروسي مزمن. وإحدى التجارب المبكرة استخدمت بروتينات ڤيروسية مكودة في الدنا لتحدث هجمات تقوم بها الخلايا المناعية على أورام يسببها **ڤيروس الورم الحليمي البشري** (HPV)[٢]. وقد بينت النتائج الأولية لهذه التجربة مثلا أن نصف الذين تلقوا العلاج جندوا خلايا تائية كاستجابة مناعية ضد بروتينات الڤيروس HPV، وشكّل أكثر من 90% منهم أضدادا بتراكيز عالية. وتختبر تجربة حالية أخرى العلاج المناعي بالدنا ضد ڤيروس التهاب الكبد C. إن النتائج البدائية للتجربتين ذات أهمية لأنه لا توجد علاجات مناعية متوفرة حاليا لأورام الڤيروس HPV أو التهاب الكبد C.

وفي هذا المجال، فإن التطبيقات البيطرية سبقت مرة أخرى الدراسات البشرية، فهناك علاج ناجح مبني على الدنا، **للملانوم** melanoma عند الكلاب، يثير فضول الباحثين المهتمين بالسرطان لدى الإنسان. فعلاج ورم الملانوم الخبيث لدى الكلاب الذي صنعته شركة ميريال Merial

(*) DEMONSTRATING THE POTENTIAL OF DNA
(١) DNA biological immunotherapy
(٢) the human papillomavirus

يزيد مدة بقاء الكلاب المصابة بالملانوم المتقدم ستة أضعاف مقارنة بالكلاب التي لم تعالج. وهذا العلاج المناعي الحيوي المبني على الدنا يوثق إمكانات الجيل الجديد من مشاريع الدنا في النجاح حيث لم تفلح المقاربات السابقة.

عودة إلى المستقبل(*)

خلال السنوات العشر السابقة أجريت اثنتا عشرة تجربة سريرية باستخدام العلاجات المناعية واللقاحات، وبعضها مازال مستمرا. وتبين أنواع البلازميد أن في لقاحات الإنفلونزا بعض فوائد **مقاربة الدنا**(١) المجربة. فلقاح الإنفلونزا الذي طوره فريق أبحاثنا ويُخْتَبر الآن من خلال تجارب أولية على البشر أثبتت فعاليته في الحماية من سلالات الإنفلونزا الشائعة، ومن ڤيروس **إنفلونرا الطيور الخطير** H5N1 الذي أصاب مئات من البشر. واللقاح قادر على توفير هذه الحماية الواسعة لأن البلازميدات تحتوي على ما ندعوه **توافق تتاليات جينات ڤيروس الإنفلونزا**(٢)، وهذا يعني أن البروتينات الڤيروسية الناتجة تشبه تلك الموجودة في العديد من ڤيروسات الإنفلونزا. إن مثل هذا اللقاح يمكن أن يُنهي عدم التوافق بين لقاحات الإنفلونزا الموسمية وسلالات ڤيروسات الإنفلونزا التي تظهر كل عام.

وبالطبع، فإن سلالة ڤيروس الإنفلونزا الجديدة H1N1 التي بدت عام 2009 وكأنها ستسبب وباءً عالميا، سلطت الضوء على الحاجة الماسة إلى مقاربة جديدة للمشكلة من خلال اللقاح. وفي الشهر 2009/5، وخلال أسبوعين حَضّرت شركة الدواء ڤيكال Vical لقاحا تجريبيا بتقانة الدنا ضد الڤيروس H1N1. ولو أن هذا اللقاح قد جُرب وصُرح باستخدامه مسبقا، لكان بالإمكان تصنيعه بكميات كبيرة قبل شهرين على الأقل من توفر اللقاح المعياري. وهو يختبر الآن في تجارب على البشر في مراحلها المبكرة، ويبدو أن النتائج مشجعة.

إن القدرة الكامنة في علاجات ولقاحات الدنا على استهداف الأمراض التي ليس لها حلول فعالة بديلة قد أعادت الدنا ثانية إلى حلبة السباق في مجال لقاحات الڤيروس HIV. أحد هذه اللقاحات الذي يختبر الآن في تجارب على الإنسان هو اللقاح **پنڤاكس-B**(٣) الذي يحتوي على ثلاثة جينات للڤيروس HIV، إضافة إلى جينات مكودة لجزيئات مُساعدة، ويُعطى مع استخدام التثقيب الكهربائي. ويتم كذلك اختبار لقاحين آخرين ضمن استراتيجية تستخدم البلازميدات لتدريب الخلايا المناعية على تعرف بروتينات الڤيروس HIV، ثم يُتبع بلقاح من نوع آخر يرفع الاستجابة المناعية المبكرة إلى مستويات أعلى. وأحدها **جيوڤاكس** GeoVax ويُعطى مع لقاح مبني على ڤيروس يُدعى **ڤاكسينيا أنكارا** vaccinia Ankara كداعم له. ويقوم الآن مركز أبحاث اللقاحات بالمعاهد الوطنية للصحة بمفارقة عجيبة وذلك باختبار نوع مختلف من لقاح الڤيروس HIV المبني على الدنا مع أحد اللقاحين للڤيروس HIV المبنيين على الڤيروس الغدّي كداعمين.

إن حقيقة كون العديد من لقاحات وعلاجات الدنا قيد الاستعمال على الحيوان، وفي المراحل الأخيرة للتجارب على البشر تتعلق بأمراض يصعب علاجها، تؤكد إلى أي درجة من التطور وصلت تقانة البلازميد. وقد جلب تطور مؤثر في هذا الحقل خلال العقد الأخير، بعضَ اللقاحات والعلاجات الأكثر إبداعا حتى الآن إلى الأبحاث التجريبية التي أجريت لتحسين صحة البشر. وبهذا الشأن، ليس بإمكان الذين رعوا هذه التقانة من بيننا منذ طفولتها، إلا أن يفخروا بأنها تجاوزت مرحلة الطفولة الصعبة ويمكنها التطلع إلى مستقبل مشرق. ■

(*) Back To The Future
(١) the DNA approach
(٢) consensus sequences of flu virus genes
(٣) Pennvax-B

مراجع للاستزادة

DNA Vaccines for HIV: Challenges and Opportunities. David A. Hokey and David B. Weiner in *Springer Seminars in Immunopathology*, Vol. 28, No. 3, pages 267–279; November 2006.

DNA Vaccines: Precision Tools for Activating Effective Immunity against Cancer. Jason Rice et al. in *Nature Reviews Cancer*, Vol. 8, No. 2, pages 108–120; February 2008.

Electroporation of Synthetic DNA Antigens Offers Protection in Nonhuman Primates Challenged with Highly Pathogenic Avian Influenza Virus. Dominick J. Laddy et al. in *Journal of Virology*, Vol. 83, No. 9, pages 4624–4630; May 2009.

***Scientific American*, July 2010**

الماسح المصغَّر المبهِر[*]

نسخة محمولة بحجم غرفة من جهاز رنين مغنطيسي نووي (NMR)[1]، يمكنه فحص كيمياء وبنى أشياء مختلفة من المومياءات حتى إطارات السيارات.

<B. بلوميش>

مفاهيم مفتاحية

- طوال عقود استعمل العلماء نُظم الرنين المغنطيسي النووي NMR لاستقصاء التركيب الكيميائي للمواد دون تعريضها للتلف. واستعمل الأطباء التقنية نفسها من حيث المبدأ في آلات التصوير بالرنين المغنطيسي MRI لرؤية داخل جسم الإنسان.
- إلا أن آلات الرنين NMR وآلات التصوير MRI، كبيرة الحجم. لذا، طوَّر الباحثون نسخا محمولة منها. وخير مثال عليها هو فأرة الرنين NMR[2] التي وجدت تطبيقات لها في التحكم في عمليات التصنيع، وفي الاختبارات غير الإتلافية للمواد، وعلم الآثار والمحافظة على الفنون.
- ويمكن للأبحاث الجارية أن تؤدي إلى تطوير نسخ محسَّنة متخصِّصة، منها ماسح دماغ بحجم خوذة لاعب كرة القدم الأمريكية يمكن استخدامه في سيارة إسعاف مسرعة.

محررو ساينتفيك أمريكان

لعلك عانيت، أو تعرفت شخصا عانى، مرضا داخليا وخضع أحدكما أو كلاكما لفحص بجهاز **التصوير بالرنين المغنطيسي** (MRI)[3]. فالاستلقاء ضمن تجويف الحجرة المغنطيسية الكعكية الضيقة الرهيبة التي تجعل التصوير MRI ممكنا، قد يكون مروِّعا، غير أن القيمة التشخيصية للصور الناتجة الشديدة التباين لنُسُج الجسم الرخوة المختلفة يمكن أن تعوِّض عن أي ذعر. ويوفِّر نوع آخر من هذه التقنية أكثر عمومية، وهو **الرنين المغنطيسي النووي** (NMR)[1]، منافع جمة بتمكينه العلماء من توصيف خصائص التركيب الكيميائي للمواد، فضلا عن بنى البروتينات والجزيئات الحيوية المهمة الأخرى، دون الحاجة إلى إدخال أشياء مادية في الأجسام قيد الدراسة.

إلا أن الأطباء والعلماء انتظروا طويلا أجهزة رنين NMR محمولة يمكن استعمالها خارج المختبر. فقد سبق أن تخيَّلوا، على سبيل المثال، ممرِّضا يستعمل ماسح تصوير MRI بحجم الخوذة لتحديد مواضع الخثرات الدموية في دماغ مصاب بجلطة دماغية وذلك أثناء وجوده داخل سيارة إسعاف مسرعة. وتخيَّلوا أيضا **مطياف رنين** NMR[4] يُمسَكُ باليد ويستطيع تمييز بِنى الأصبغة الكيميائية ويمكِّن خبراء الفنون من تمييز اللوحات الأصلية المعلقة في المتاحف وصالات العرض من تلك الحديثة المزيفة.

ليس الباحثون على وشك صنع المسجل العجيب tricorder المتعدِّد الأغراض الذي ظهر في المسلسل التلفزيوني الشهير Star Trek، إلا أنني قمت مع <P. بلومر> [وهو طالب دكتوراه سابق لديّ] بالخطوات الصغيرة الأولى نحو صنع جهاز رنين NMR محمول في عام 1993، عندما كنا معا في معهد ماكس پلانك لأبحاث الپوليمرات في مينتز بألمانيا. وأدت جهودنا في النهاية إلى أداة اختبار صغيرة للمواد توفر نتائج مفيدة للباحثين في الحقل. ومنذئذ، يقوم عاملون آخرون في **مجال** «**الرنين NMR النقال**[5]» باتباع مقاربتنا ومقاربات آخرين لتطوير تقانات متصلة واسعة النطاق تنطوي على قدرات تصوير وتحليل متزايدة الإمكانات.

أبسط أنواع الرنين NMR[**]

قبل خمسة عشر عاما، عندما بدأت مع <بلومر> أول مرة شبه مازحَيْن، بالتفكير في أبسط تركيبة يمكن أن تُنتِج إشارة رنين NMR مفيدة، بدا توجُّهنا برمته سخيفا إلى حد ما. فمعظم الباحثين كان يتحرك بالاتجاه المعاكس، أي باتجاه تصميم بروتوكولات

(*) THE INCREDIBLE SHRINKING SCANNER
(**) The Simplest NMR
(1) NMR = nuclear magnetic resonance
(2) the NMR-Mouse
(3) MRI = magnetic resonance imaging
(4) handheld NMR spectroscope
(5) "mobile NMR"

قياس رنين NMR متزايدة التعقيد لتوفِّر مزيدا من التفاصيل الدقيقة عن بنى الأشياء والمادة. إلا أن محاولاتنا السابقة لتطوير تقنيات تصوير بالرنين MRI لمواد البوليمرات علَّمتنا أن المغانط الضخمة والمكلفة، والحقول المنتظمة المتجانسة التي تولِّدها، ليست ضرورية دائما للتصوير الناجح.

فقد أدركنا أن الحقول المغنطيسية الضعيفة (لكن الأقوى بـ 20 إلى 50 مرة من حقول المغانط التي تزيِّن الثلاجات) وغير المنتظمة أو المتجانسة للمغانط الدائمة المغنطة الرخيصة يمكن أيضا أن تُنتج بيانات تميِّز بوضوح المناطق المختلفة للمادة الرخوة. وبسرعة خرج «بلومر» بتصميم لجهاز يمكن أن يعطي المعلومات الأساسية الموجودة في **عنصورة**[1] pixle واحدة من صورة رنين مغنطيسي عادي. وقدَّرنا أننا نستطيع تحريك ذلك الجهاز هنا وهناك كفأرة حاسوب لمسح الأشياء الكبيرة نسبيا، ولذا سمَّيناها فأرة الرنين NMR، مع ملاحظة أن التسمية الإنكليزية المختصرة مكوَّنة من الأحرف الأولى للعبارة nuclear magnetic resonance mobile universal surface explorer، أي المستكشف السطحي المتنقل العام بالرنين NMR.

وكان أكثر جوانب اختراعنا إثارة أنه ينطوي على إمكان أن يكون بحجم فنجان القهوة، وهذا ما يجعله سهل التحريك هنا وهناك. وخلافا لنُظُم NMR النووي المألوفة، التي تتطلَّب أن يكون المَقَاس الأقصى للعينات المختبرة أصغر من القطر الكبير لتجويف المغانط الحلقية المستعملة، يمكن توضيع نظامنا على سطح أي جسم مهما كان مقاسه لفحص ما بداخله.

ولكن اللاتجانس الشديد للحقل المغنطيسي في فأرة الرنين NMR مَثَّل مشكلة. فوفقا لمعلومات الكتب الجامعية حينذاك، سيؤدي ذلك إلى القضاء على إمكان أن يكون الجهاز قادرا على توفير تحاليل المواد الكيميائية.

الرنين NMR الشائع(*)

لقد تغلَّبنا على تلك العقبة بالاستفادة من خاصية معينة مستعملة في إجراءات الرنين NMR الشائع تُعرف بالثابت الزمني T_2. إن التحليل الطيفي بالرنين NMR العادي العالي الدقة يُجرى اليوم بوضع عيِّنة داخل مغنطيس ثابت ضخم يولِّد حقلا مغنطيسيا متجانسا قويا. وهذه التقنية تستغل حقيقة أن نواة الذرة (مجموعات من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات المحايدة) في ذرات معينة **تُدوِّم** spin حول محاورها كما تدور **الدوَّامة**[2] الصغيرة حول نفسها، وهذا ما يجعلها تتصرف كمغانط قضبانية صغيرة ذات قطبين: شمالي وجنوبي [*انظر المؤطَّر في الصفحة 24*]. وتلك المغانط القضبانية تحاول الاصطفاف في الحقل المغنطيسي القوي مسايرة خطوط الحقل المغنطيسي. ولكن الاصطفاف لا يكون تاما، ولذا **تبادِر**[3] **النوى المدوِّمة** spinning nuclei، أو **التدويمات** spins، حول خطوط قوة الحقل بطريقة تشبه الحركة الراقصة للدوَّامة عندما تطبَّق عليها قوة جانبية.

وإذا قُذِفت تلك النوى بعدئذ بنبضة **ترددات راديوية** **(RF)**[4]، فإنها سوف تمتص طاقة

فحص اللوحات بفأرة الرنين NMR، محلِّل موادّ محمول (داخل إطار توضيع)، يُمكِّن «E. D. فدريكو» [من معهد پرات Pratt] من تمييز طبقات التلميع والدهانات والجبس واللوحة القماشية لتحديد حالة اللوحة المحفوظة.

(*) Conventional NMR

(١) عنصورة Pixle نحت من عنصر صورة.

(٢) top، مخروط من الخشب أو غيره يلف بخيط ثم يرمى على الأرض فيدور على محور من حديد، ويلعب به الصبيان.

(٣) precess، في علم الفلك، تعبِّر الكلمة عن التغيُّر البطيء في الموسطات الدورانية أو المدارية للأجسام الفلكية. وفي الفيزياء تعبِّر عن تغيُّر اتجاه محور دوران الجسم الدوَّار. والمقصود في هذا المقام هو أن محور تدويم الدوَّامة يميل ويدور حول محور شاقولي ينطلق من نقطة ارتكاز رأسها ليرسم محلا هندسيا مخروطي الشكل. وقد شاع في العربية استعمال الكلمة «مبادَرة» مقابل «precession»، ولعل ذلك قد أتى من أن الكلمة اللاتينية تنطوي على مفهوم «السبق» الذي يحصل في الاعتدالين الربيعي والخريفي بمقدار 50.23 ثانية قوسية كل سنة، والذي يؤدي إلى تأخير في دوران الأرض حول الشمس مقداره سنة كاملة كل 25800 سنة. وبهذا المعنى يمكن أن يكون استعمال «مبادَرة» مقبولا، أما فيما يخص موضوع هذه المقالة فقد تكون الكلمة «ترنُّح» أفضل تعبيرا عن الظاهرة التي تحصل للدوَّامة.

(٤) radio-frequency

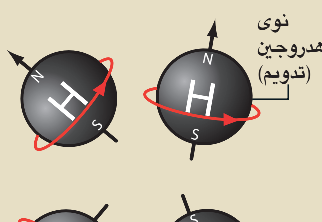
[أساسيات]

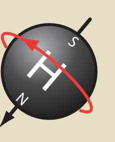
كيفية عمل الرنين NMR(*)

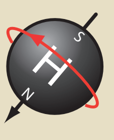
تُعرِّض تقانة الرنين NMR الأشياء لحقل مغنطيسي ونبضات ترددات راديوية. ويمكن لتحليل استجابة المواد لتلك المؤثِّرات أن يكشف عن الجزيئات المكونة للمادة وعن خصائص من قبيل قوتها أو قساوتها. تُعتبر أجهزة التصوير بالرنين MRI الضخمة الموجودة في المستشفيات *(في اليسار)* شكلا من جهاز الرنين NMR.

تكوين المغنطة النووية

❶ توجُّه عشوائي

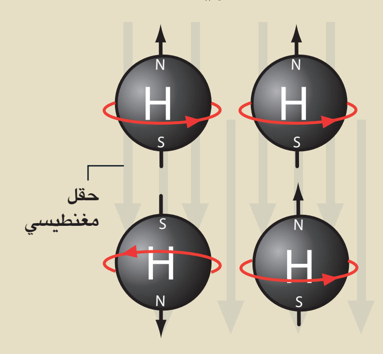






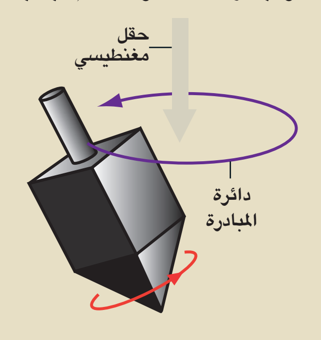
پروتونات منفصلة (نوى هدروجين) تدوِّم حول محاورها باتجاهات عشوائية. إن حركة البروتونات الموجبة الشحنة (المعروفة بالتدويمات) تجعلها تتصرف وكأنها مغانط قضبانية صغيرة.

❷ اصطفاف التدويمات المغنطة ...



عندما يطبِّق جهاز الرنين NMR حقلا مغنطيسيا قويا على العينة، ينزع التدويم *(وسطيا)* إلى محاذاة محاورها مع خطوط الحقل.

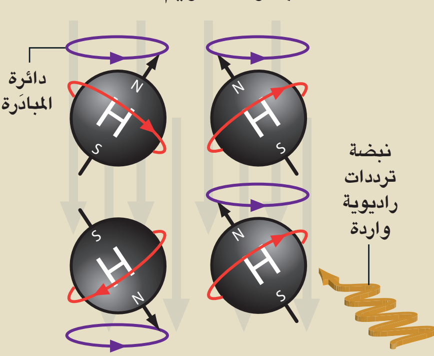
❸ ... وتبادر مثل الدوامات (البلابل taps)



إلا أن المحاذاة لا تكون دقيقة، وهذا ما يؤدي إلى المبادَرة، أي إلى دوران المحاور حول خطوط الحقل بتردد فريد لكل نوع من النوى ومجموعة كيميائية في جزيء.

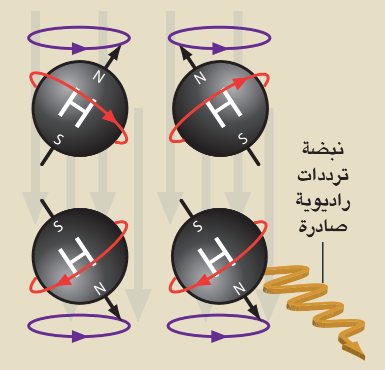
امتصاص وتحرير طاقة الترددات الراديوية

❶ مجموعة تدويم ممغنط



تبادِر التدويمات المغنطة في اتجاهات عشوائية في الحقل المغنطيسي. وعندما تُرسِل وشيعة في الجهاز NMR نبضة ترددات راديوية إلى المجموعة، لا يستطيع امتصاصَ طاقة النبضة إلا تدويمٌ يبادِر بمعدل وطور يطابقان تردد النبضة.

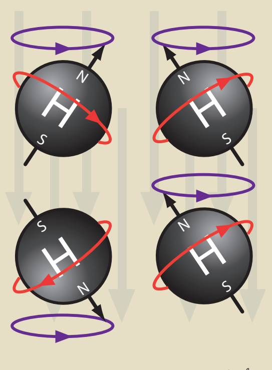
❷ يمتص التدويم طاقة نبضة الترددات الراديوية



يؤدي الامتصاص إلى انقلاب التدويم بـ 180 درجة. وجميع النوى التي تتأثَّر بنبضة الترددات الراديوية بالطريقة نفسها تمتص جزءا من طاقة النبضة وتنقلب بـ 180 درجة. وتلتقط وشيعة الجهاز الإشارة المحرَّضة بالمغنطة الناجمة عن تلك التغيُّرات في مبادَرة تدويم وتُرسلها إلى حاسوب.

❸ تحرير التدويم للطاقة





تُحرِّر التدويمات المنقلبة، بفواصل زمنية عشوائية، طاقة الترددات الراديوية (RF) الممتصة وتعود إلى اتجاهاتها الأصلية.

النبضة وتعيد إصدارها فيما بعد بترددات معينة وفقا لمعدلات دوران كل منها. وتؤدي هذه الترددات إلى نشوء طيف الرنين NMR على شكل قمم متميزة متفاوتة الارتفاع يمكن استعمالها، على غرار مجموعة من بصمات الأصابع، لتحديد المجموعات الكيميائية المكوِّنة للعينة. ويمكن أيضا معالجة البيانات لتكوين صور تميِّز المواد المختلفة.

وأكثر تحديدا، يعتمد **التحليل الطيفي بالرنين** NMR[1] على قياس ترددات مبادَرة النوى المتدوِّمة عندما تستجيب للحقل المغنطيسي المطبَّق عليها ولنبضات الترددات الراديوية. وحينما تتعرض عينة غير ممغنطة لحقل مغنطيسي أولا، تصطف التدويمات

(*) How Nuclear Magnetic Resonance Works
(1) NMR spectroscopy

رواد جهاز الرنين NMR المحمول(*)

حقَّق حقل تقنية «الرنين NMR المحمول» الناشئ تقدُّمه على أيدي كثير من الباحثين المتميزين في جميع أنحاء العالم، منهم:

بول كالاهان PAUL CALLAGHAN

جامعة ڤكتوريا، ولينگتون، نيوزيلندا

حقَّق ابتكارات في حقل ميكروسكوپية (مجهرية) الرنين NMR microscopy، وطوَّر طرائق رنين NMR لدراسة جزيئات المواد اللينة والمسامية، واخترع أجهزة محمولة جديدة للمطياف (مقياس الطيف) بالرنين NMR spectrometry. (*انظر الصورة في الأسفل*).

أيشي فوكوشيما EIICHI FUKUSHIMA

مركز رنين نيومكسيكو New Mexico Resonance

ألبوكيرك، نيومكسيكو

ابتكر طرائق رنين NMR لتحليل السيرورات التقنية، وطوَّر تقانات رنين NMR متنقل جديدة.

ألكساندر پاينز ALEXANDER PINES

جامعة كاليفورنيا، بيركلي

أنجز ابتكارات عديدة في منهجيات الرنين NMR، منها: الرنين NMR باستعمال أنصاف النواقل، وتقنيات الرنين NMR التي تقوِّي الإشارات باستعمال مفاعيل الاستقطاب الفائق.

▼ مجسُّ رنين مغنطيسي نووي[2] متنقل (*في اليمين*) طوَّره <كالاهان> (الذي يُمسك بالمثقب *في اليسار*) و <M. هانتر> وباحثون آخرون. وقد وُضِع المجس في ثقب لتقييم الخصائص الفيزيائية للجليد البحري في القطب الجنوبي.

نتائج ◄

يسجِّل الحاسوب المدة التي يستغرقها كل نوع من التدويم لتحرير الطاقة الراديوية الممتصة (منحنى T1). ويستطيع الجهاز أيضا مراقبة التدويمات المبادرة حينما تفقد تزامنها عشوائيا (منحنى T2). وفي الوقت نفسه، تسجِّل تردد مبادرة تدويمات المجموعات الكيميائية المختلفة الذي تعبِّر عنه قيمة تسمى الانزياح الكيميائي. يمثل الانزياح أساس مخططات أطياف الرنين المغنطيسي النووي التي تحدِّد المجموعات الكيميائية المكوِّنة للعينة، من قبيل تلك الموجودة في جزيء الهيدروكربون توليوين toluene[1] (مخطط التحليل الكيميائي). وتجمع أجهزة التصوير بالرنين NMR جميع تلك البيانات معا لتُنتج صورا لنُسُج الجسم الداخلية، ومنها صور دماغ الإنسان (*أعلى اليمين*).

مسايرة لخطوط الحقل تقريبا. وبعد تعرُّض العينة لنبضة ترددات راديوية (من وشيعة الترددات الراديوية)، تبادِر التدويمات متزامنة معا، ثم تفقد التزامن وتعود إلى حالاتها الأصلية. وتستغرق هذه العودة إلى حالة التوازن الأصلية مدة مميزة T1 تحرِّر التدويمات خلالها الطاقة التي امتصتها من النبضة الراديوية (المدة المميزة، أو الثابت الزمني، هي مدة تشبه عمر النصف في النظائر المشعة، وهو المدة التي يستغرقها مستوى إشعاع التخامد النووي من عينة لينخفض إلى النصف).

وتُحرِّض المبادَرة المتزامنة للتدويمات

(*) PIONEERS OF PORTABLE NMR

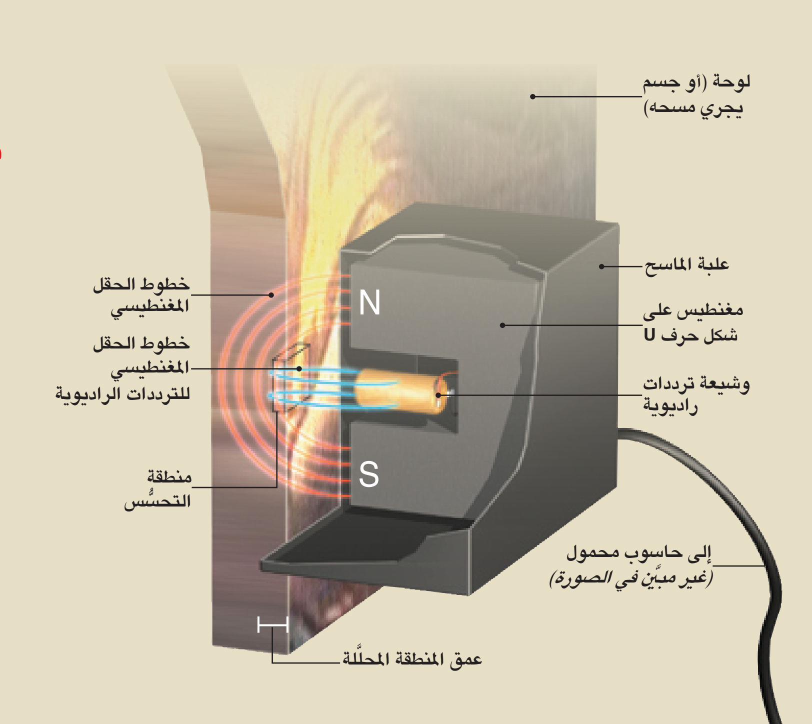
(١) سائل عديم اللون شبيه بالبنزين يُستخرج من قطران الفحم ويُستخدم مذيبا في صنع الأصبغة والمتفجرات.

(٢) Mobile NMR Probe

(التحرير)

أول جهاز رنين NMR مصغر(*)

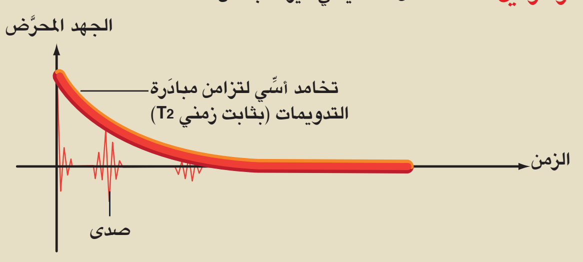
يتكوَّن محلِّل المواد المحمول الذي طوَّره المؤلف، أي فأرة الرنين NMR (مبينة في صورة مجتزأة) من مغنطيس على شكل حرف U يحتوي على وشيعة ترددات راديوية في فجوته. يتحسَّس الجهاز تركيب المادة في منطقة تقاطع خطوط الحقل المغنطيسي ووشيعة الترددات الراديوية. ويضع المشغلون الجهاز على مسافات مختلفة من السطح لتحليل شرائح على أعماق مختلفة.



جهاز رنين NMR عادي : حقل مغنطيسي متجانس



فأرة رنين NMR : حقل مغنطيسي غير متجانس



▲ **الفوارق بين جهازي الرنين NMR: العادي والنقال**

يولِّد جهاز الرنين NMR العادي حقلا مغنطيسيا متجانسا، ولذا يمكن أن تُنتِج إشارة ثابت زمني T_2 بواسطة نبضة ترددات راديوية واحدة. أما فأرة الرنين NMR فلا تستطيع فعل الشيء نفسه، لأنها تستعمل حقلا مغنطيسيا غير متجانس. إلا أنها تستطيع توليد إشارة T_2 بتحريض العينات بواسطة نبضات ترددات راديوية متعاقبة تُعطي إشارات تسمَّى الأصداء. ويمكن بعدئذ تجميع مطالات الأصداء لتكوين إشارة T_2 مفيدة.

المغنطيسية جهدا كهربائيا متناوبا في **الوشيعة** the coil يتخامد وفقا لثابت زمني T_2 مميِّز لكل نوع من التدويم أثناء فقدان التدويمات تزامنها. ولتكوين أطياف الرنين NMR تبيِّن كيمياء المادة وتُنتج صورا، يُحدَّد الثابتان الزمنيان T_1 و T_2 مع نتائج بيانات المبادرة بواسطة صيغ رياضياتية معقدة مختلفة تَستخلص، على سبيل المثال، كثافة التدويمات في مقدار من العينة، ومن تلك الكثافة يُستخلص تباين صورة الجسم.

ركوب قطار الأصداء(**)

كان المفتاح لتحقيق أجهزتنا هو إدراكنا أن قياس الثابت الزمني T_2 في الحقول المغنطيسية غير المنتظمة ممكن. ففي عام 1949، كان <E. L. هان> [الفيزيائي الشهير لدى جامعة إلِّينوي] قد بيَّن أنه يمكن كشف الاستجابة للتحريض بالرنين NMR حتى حين استعمال حقول مغنطيسية غير متجانسة، وذلك بسبب ظهور إشارات معينة تسمى **الأصداء** echoes. وفي الحقول غير المتجانسة، يتخامد جهد الوشيعة الناجم عن التحريض بالنبضة الراديوية بسرعة حتى يصبح صفرا، إلا أنه يمكن تكراره بعدئذ بتطبيق نبضات أخرى. ويولِّد المزيد من النبضات سلسلة من الأصداء التي تكوِّن ما يسميه العلماء قطار الأصداء [*انظر المؤطَّر في هذه الصفحة*]. وتتخامد مطالات الأصداء التي في القطار وفقا للثابت الزمني T_2 الذي يختلف من مادة إلى أخرى مميِّزا إياها.

وتُعبِّر قيم الثابت الزمني T_2 عن قابلية

(*) The First Miniaturized NMR Machine
(**) Riding the Echo Train

حركة الجزيئات التي في قيد الاستقصاء. فالمادة اللينة (التي تستطيع جزيئاتها التحرك بسهولة) تتصف بثابت زمني T_2 طويل، في حين أن المادة الصلبة (التي تكون فيها حركية الجزيئات أضعف) تتصف بثابت زمني T_2 قصير. وكلما حدث تفاعل كيميائي أو تغيُّر في طور المادة، تغيَّرت أيضا الحركية الجزيئية للمكونات. لذا، توفِّر قيم الثابت الزمني T_2 المختلفة معلومات عن فيزياء وكيمياء المواد، إضافة إلى بيانات التباين التي يمكن استعمالها للمساعدة على تمييز مناطق النُّسُج غير المتماثلة في الصور الطبية.

عندما انتقلتُ مع <بلومر> إلى المجموعة RWTH في جامعة آخن بألمانيا عام 1994، بدأنا ببناء أول نموذج من فأرة الرنين NMR. وبعد ذلك بعامين لاحظنا أول إشارة من الجهاز، وذُهلنا عندما وجدنا أن اختراعنا قادر على إنتاج استجابات من جميع المواد التي تحتوي على پروتونات تقريبا، ومنها الخشب والمطاط والشوكولاته. لقد كان قطار أصداء بعض المواد طويلا، وكان قصيرا في مواد أخرى. وبدأنا بعدئذ باستقصاء منهجي لكيفية ترابط قيم الثابت الزمني T_2 بخصائص المواد التي سبرناها.

وبعد سنوات عدة من التنقيح، وبالاستفادة من النتائج المفتاحية للباحثَيْن <F. كازانوڤا> و <J. پرلو>، اللذين انضما إلى المجموعة RWTH، انتهى بنا المطاف إلى نموذج بحجم محفظة النقود من فأرة الرنين NMR التي نستعملها حاليا. يتضمن تصميم النموذج فتحة يخرج منها الحقل المغنطيسي إلى الخارج، وهو يستهلك طاقة قليلة تقارب ما يستهلكه مصباح كهربائي متوهج. وثمة الآن نحو 40 إلى 50 وحدة من هذا الجهاز تعمل في جميع أنحاء العالم.

[تطبيقات الرنين NMR النقال]

استخدامات أخرى لفأرة الرنين NMR(*)

إضافة إلى تحليل اللوحات، ثمة تطبيقات علمية وصناعية أخرى لفأرة الرنين NMR. فمصنِّعو إطارات السيارات، على سبيل المثال، يستعملون هذا الجهاز لتصوير وتحديد التراكيب الكيميائية للطبقات الإفرادية العديدة الموجودة في مركبات المطاط المختلفة التي تُصنع منها الإطارات (وفي بعض الحالات، لمنتَج منافس). لا يصلُح جهاز التصوير المقطعي بالرنين NMR العادي لتصوير الإطار المقوَّى بحزمة من أسلاك الفولاذ، لأن الحقل المغنطيسي القوي الذي تولِّده يجذب الأسلاك الفولاذية التي تشوِّه طبيعتُها الحديدية نتائج التصوير. ويوظِّف آخرون الفأرة في تقييم الضرر البيئي الذي يلحق بمواد پوليمرية، من قبيل الپولي إثيلين، مع مرور الوقت.

واستعمل العلماء أيضا فأرة الرنين NMR في دراسة الرجل الجليدي أوتزي Ötzi، أي مومياء العصور القديمة الذائبة جزئيا التي اكتشفها متسلقو جبال الألب في عام 1991. وفي عام 2006، رسم الجهاز بنجاح مقطعا عرضانيا لجلد الرجل الجليدي المحفوظ جيدا، ولنسيج عظم ما تحت الجلد والجمجمة، وذلك في متحف الآثار في بولزانو بإيطاليا.

ليس رجل الجليد (*في اليمين*) وإطار السيارة (*في الأعلى*) سوى اثنين من المواضيع الكثيرة التي تدرَس بفأرة الرنين NMR.

استعمال فأرة الرنين NMR(**)

كانت مادة المطاط واحدة من أولى المواد التي درسناها، لأنها ذات أهمية تجارية لمنتجات مثل إطارات السيارات. وهي لينة مثل نُسُج الجسم التي يعمل معها التصوير بالرنين MRI بنجاح. يتكوَّن المطاط من جزيئات پوليمر طويلة شبيهة بالمعكرونة (سپاغتي)، ترتبط معا في شبكة ثلاثية الأبعاد من الوصلات العشوائية التي تُعدُّ كثافتها في كثير من التطبيقات أهم الخصائص التي تحدِّد المتانة العامة للمادة. ويعتمد أداء الإطار، الذي يتكوَّن من طبقات متعددة من مركَّبات المطاط ذات الكيمياء وكثافات الوصلات المتشابكة المختلفة، على المفاعيل المتبادلة فيما بين هذه المكونات جميعا. ومن ناحية أخرى، ثمة حاجة، عادة، إلى اختبار

(*) Other Uses for the NMR-Mouse
(**) Using the NMR-Mouse

التتمة في الصفحة 45



تبيّن براهين متزايدة من عظام الدَّينوصورات أنّ المواد العضوية، خلافا لما ساد اعتقاده، يمكن أن تُحفظ في الأحافير لملايين السنين.

<M. H. شفايتزر>

عند النظر من خلال **الميكروسكوب** (**المجهر**) microscope إلى شريحة رقيقة من عظم أحفوري، شككتُ في كريات حمر صغيرة كان أحد زملائي قد لفت انتباهي إليها. فهذه البنى الصغيرة تقع في قناة وعاء دموي يلتوي عبر نسيج قاس بلون أصفر فاتح. وكل واحدة منها تحوي مركزا قاتما يشبه نواة الخلية. في الواقع، تبدو الكريات مشابهة تماما لخلايا دم الزواحف والطيور والحيوانات الفقرية الأخرى الحية حاليا باستثناء الثدييات التي تكون فيها خلايا الدم مجردة من النواة. وقد تساءلت هل من الممكن ألاّ تكون هذه الخلايا خلايا دموية؟ فقد كانت شريحة العظم من عظم دينوصور اكتشفه حديثا فريق من متحف الروكيز في بوزمان، بولاية مونتانا ويدعى ***تيرانوصوروس ريكس*** *Tyrannosaurus rex* الذي انقرض منذ 67 مليون سنة - وكل شخص يعلم أن المادة العضوية كانت هشة جدا لدرجة لا يستمر وجودها لمثل هذه المدة الطويلة من الزمن.

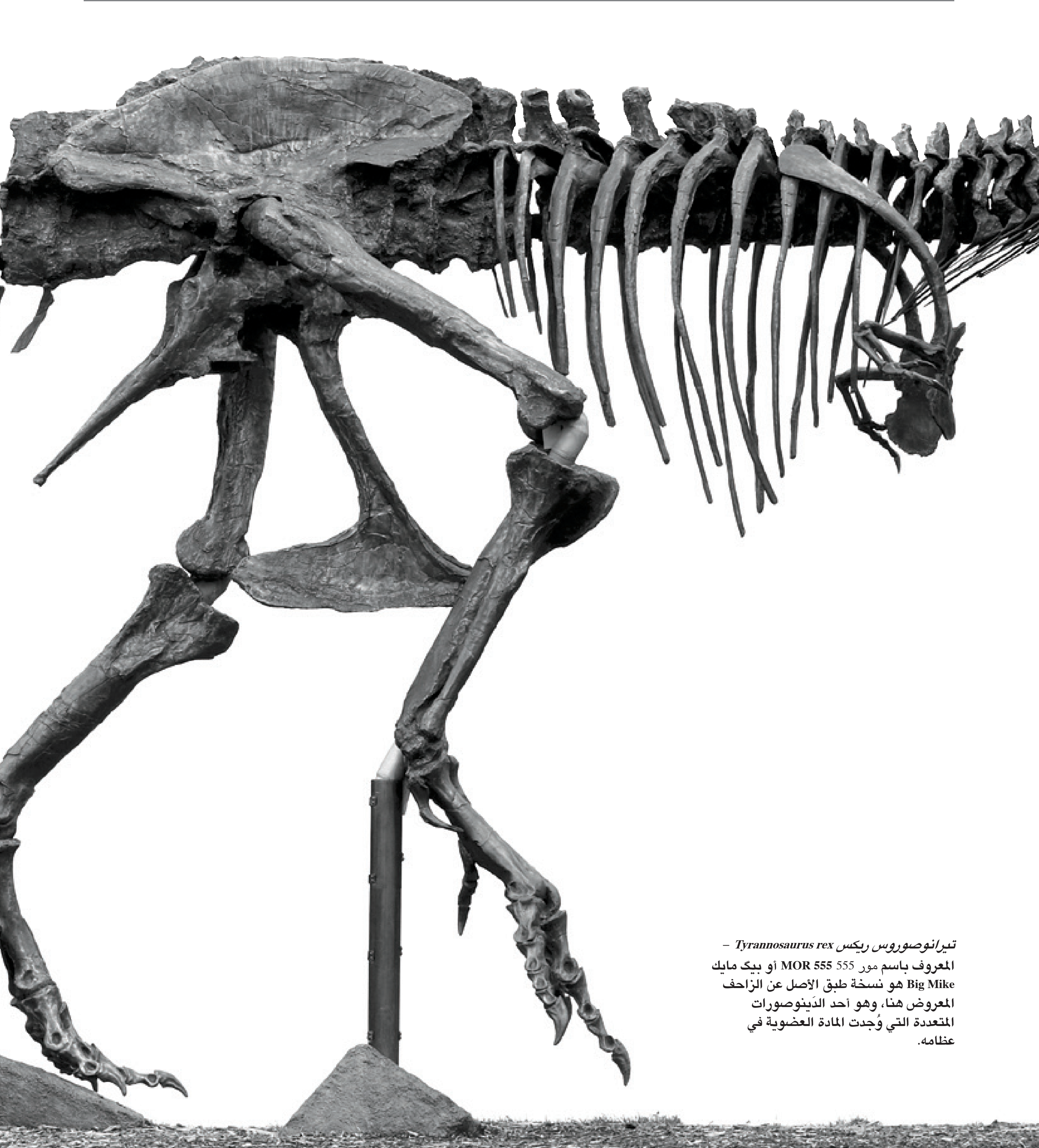
(*) BLOOD FROM STONE

باختصار

■ تعد النظرة التقليدية لعملية التحفّر (التحول إلى أحافير) fossilization أنّ المواد العضوية تختفي على مر الزمن تاركة فقط بقايا متمعدنة mineralized غير حية.

■ غير أن شواهد متزايدة تشير إلى أن المواد العضوية مثل بقايا الدم والخلايا العظمية والمخالب يمكن أن يستمر وجودها تحت شروط خاصة في الأحافير لملايين السنين.

■ وهذه المواد القديمة يمكن أن تساعد على الإجابة عن بعض الأسئلة مثل ما هو الأسلوب الذي تكيفت فيه الدينوصورات مع الظروف البيئية المتغيرة وكيف تطورت بسرعة.



تيرانوصوروس ريكس Tyrannosaurus rex – **المعروف باسم** مور 555 **MOR 555 أو بيگ مايك Big Mike هو نسخة طبق الأصل عن الزاحف المعروض هنا، وهو أحد الدَينوصورات المتعددة التي وُجدت المادة العضوية في عظامه.**

منذ أكثر من 300 سنة، عمل علماء الأحافير (المستحاثات) علـى افتراض أن المعلومات المحتواة في العظام القديمة تقع في حجم العظام وشـكلها فقط. وبحسـب المنطق التقليدي، فإنه عندما يموت حيوان في ظروف مناسبة **لتحفّره (لتحوّله إلـى أحفورة)** fossilization، تحلّ، في النهاية، معادن عاطلة مـن البيئة المحيطة به محل جميـع جزيئاته العضوية - مثل الجزيئـات التي تتكـوّن منها الخلايا والنسـج والأصبغة والبروتينات - تاركة وراءها عظاما مؤلفة بكاملها من المعادن. وعندمـا كنت أجلس في المتحف بعد ظهيرة يوم من أيام عام 1992 وأحدّق فـي البنى القرمزية اللون في عظم دينوصور، كنت أرى ما يشـير إلى أنّ ذلك المعتقد الأساسـي في علم الأحافير يمكن أن لا يكون بالضرورة صحيحا دائما - ومع ذلـك، كنت متحيرة في ذلك الوقت. ولمّا كانت الدينوصورات حيوانات فقرية لا ثديية، فإنه يجب أن تكون لها خلايا دموية مجهزة بنواة، وأنّ النقـاط الحُمر تبدو بالتأكيد جزءا منها، ولكن أيضا يمكن أن تكون هذه البنى قد نشـأت عن بعض العمليات الجيولوجية التي لا أزال أجهلها.

وفي ذلك الوقت، كنت طالبة دراسـات عليا جديدة نسبيا فـي جامعة ولايـة مونتانـا، أدرس البنى الميكرويـة لعظام الدينوصـورات وبالكاد كنت من ذوي الخبرة. وبعد أن طلبت رأي أعضاء الهيئة التدريسية في الكلية وطلبة الدراسات العليا الآخرين حول هوية الكريات الحُمر، وصلت هذه الأحجية إلى مسامع <J. هورنر> [أمين متحف علم الأحافير وأحد مشاهير علمـاء العالم المتخصصين بالدينوصورات]. فقد اهتم بالأمر

كيف تحدث عملية التحفّر

القصة كما تُروى في الكتب التعليمية مع شيء من التحريف(*)

فـي الوصـف التقليـدي لكيفية تحفّر أحـد الحيوانات إلى أحفـورة تتدهور degrade الأوتـار والأحشـاء والعضـلات إضافـة إلـى الجلـد مخلفـة العظام. وتتدهور أيضا الخلايا والبروتينات والأوعية الدموية في العظام وتتسرّب معادن من الرواسب المحيطة بها إلى الفراغات التي تخلفها وراءها. جميع ذلـك يـؤدي في النهاية إلى تجمّع صلد به معـادن العظم الأصلي. غير أنّ الخلايا والبروتينات والأنسـجة الرخوة soft tissues الموجودة فـي عظام قديمة متنوعة، تبيّن أنّ عمليـة التحفّر لا تتبع تماما ودائما الأسـلوب نفسـه. لم يـدرك العلماء تماما ما يسـمح أحيانـا للمـواد العضويـة بـأن تدوم عشـرات الملايين مـن السـنين، ولكنّهم حدّدوا عوامل (مشـار إليها بالخـط الأحمـر) قد تسـاعد علـى حفظ هذه المواد واستخلاصها.



الاكتشاف المبكر
مقارنة بالنظرة العادية لعظم تحوّل إلى أحفورة تحت المجهر، فإن شريحة رقيقة من عظم الزاحف *تيرانوصوروس ريكس*، كما يراها المؤلف، كانت تحتوي على بنى تشبه خلايا الدم.

(*) The Textbook Story, with a Twist

ونظــر من خلال المجهر بحاجبين مقطبين مدة بدت لي وكأنها ســاعات طِــوال من دون أن يقول كلمة. وبعــد ذلك، نظر إليّ متجهما وســألني: «ماذا تعتقدين أنها تمثّل؟» أجبته لا أعلم، غيــر أنّ لها تماما الحجم والشــكل واللون نفســه لأن تكون خلايــا الدم، وأنها موجودة أيضا فــي المكان الصحيح. لقد تمتــم بكلمات غير مفهومة «إذن برهن لي أنّها ليســت خلايا دم». لقد كان ذلك تحدّيا قويا لي وهو الذي أسهم في تحضير كيف أطرح أسئلة بحثي، وحتى كيف أطرحها الآن.

ومنذ ذلك الحين، اكتشــفت مع زملائي أنماطا مختلفة من البقايا العضوية – تتضمّن أوعية دموية وخلايا عظمية وأجزاء من مواد شبيهة بمادة الأظافر التي تشكّل المخالب، وهي تشير إلى أنّه على الرغم من أنّ حفظ الأنســجة الرخوة في الأحافير ليس شائعا، لكنه لا يكون حدثا عاديا أو منتظما. إنّ هذه النتائج لا تبتعد فقط عن وصف الكتب المدرســية لعملية التحفّر وإنّما تعطــي أفكارا جديدة حول بيولوجية المخلوقات البائدة. فمثلا، إنّ عظما من عينة أخرى من الزاحف ***تيرانوصوروس ريكس*** *T. rex*، كشــف أنّ الحيوان كان أنثى في حالة تحضير لعملية وضــع البيض عند نفوقها – وهي معلومات لا يمكن الكشــف عنها من شــكل العظام وحجمها فقط. كما ســاعد اكتشــاف بروتــين في بقايا من ألياف بالقرب مــن دينوصور صغير من آكلات اللحــوم، عثــر عليه في منگوليا، علــى البرهنة أنه كان للدينوصور ريش يشبه على المستوى الجزيئي ريش الطيور.

واجهــت نتائجنا الكثير من الشــكوك – فهي في النهاية مذهلة إلى أبعد الحدود. ولكن الشكوك جزء أصيل في العلم،



لقد واصلت العمل لأجده أخّاذا وواعدا. إن دراسة الجزيئات العضوية القديمة من الدينوصورات، تعطي إمكانات تُحسّن فهمنا عن تطوّر وانقراض هذه الحيوانات الرائعة بصورة لم نكن نتصورها منذ عشرين سنة.

الإشارات الأولى(*)

كما يقول المثل القديم، تتطلّب الادعاءات الخارقة أدلة خارقة. فالعلماء الحذرون لا يوفرون أي جهد لدحض الفرضيات المحترمة قبل أن يقبلوا أنّ أفكارهم صحيحة. وهكذا، وخلال العشرين سنة الماضية جربت جميع التجارب التي يمكن أن أفكر فيها لدحض فرضية أنّ المواد التي اكتشفتها مع زملائي هي مكوّنات من أنسجة رخوة لدينوصورات وحيوانات أخرى بائدة.

في حالة البنى الميكروية الحمراء اللون التي رأيتها في عظم الزاحف *تيرانوصوروس ريكس*، بدأت بالتفكير فيما إذا كانت تنتمي إلى خلايا دم أو إلى مكونات خلايا دم (مثل جزيئات من الهيموگلوبين أو **الهيم** heme التي تجمّعت معا بعد انطلاقها من خلايا دم ميتة)، ويمكن أنها حُفظت، ولو بشكل متغيّر جدا، في شكل ما فقط عندما تكون العظام نفسها قد حفظت حفظا جيدا بصورة استثنائية. إن مثل هذه النسج يمكن أن تختفي في الهياكل المحفوظة حفظا سيئا. لقد كان ذلك بكل وضوح على المستوى الماكروي (المرئي بالعين المجردة) صحيحا. فالهيكل، الذي هو عينة كاملة تقريبا اكتشف في مونتانا الشرقية - وسمي اصطلاحا **مور 555** MOR 555 ودعي بصورة وصفية «بيگ مايك» Big Mike - يتضمّن الكثير من العظام التي حفظت حفظا جيدا بصورة نادرة. وبصورة مشابهة، فإنّ الفحص المجهري للشرائح الرقيقة لعظام أطرافه كشف عن حفظ جيد لبنية العظم الأصلية. فقد كانت معظم قنوات الأوعية الدموية في العظم الكثيف فارغة، غير ممتلئة بالتوضّعات المعدنية كما هو المألوف مع الدّينوصورات. وكانت تلك البنى المجهرية حمراء اللون لا تظهر إلاّ في قنوات الأوعية ولا تظهر على الإطلاق على محيط العظم أو في الرواسب المجاورة للعظام، تماما كما يجب أن تكون حقيقة خلايا الدم.

وبعد ذلك، وجّهت انتباهي إلى التركيب الكيميائي لما يشبه خلية الدم. فقد بيّنت التحاليل أنّها كانت غنية بالحديد، كما هو الحال في خلايا الدم، وأن الحديد كان صفة مميّزة لها. والمواد التي تشكّل الأشياء الغريبة الحمراء اللون (التي دعوناها الأشياء المستديرة ذات اللون الأحمر LLRTs) لم تكن مختلفة فقط عن مواد العظم المحيطة مباشرة بأقنية الأوعية الدموية، وإنّما كانت تتميّز تماما من الرواسب التي دُفن فيها الدينوصور.

وللمزيد من فحص العلاقة بين البنى الحمراء اللون وخلايا الدم، رغبت في أن أتفحّص عيناتي عن الهيم، الجزيء الصغير المحتوي على الحديد الذي يعطي دم الحيوانات الفقرية اللون القرمزي ويمكّن بروتينات الهيموگلوبين من حمل الأكسجين من الرئتين إلى سائر أنحاء الجسم. يتذبذب الهيم أو يتجاوب في أنماط دلالية عندما يُحرّض بأشعة الليزر المتوافقة (المتناغمة)، وبسبب احتوائه على مركز حديدي (فلزّي)، فإنّه يمتص الضوء بطريقة متميّزة جدا. وعندما كنّا نُعرّض عينات العظام لاختبارات التحليل الطيفي - الذي يقيس الضوء الذي تصدره مادة مفترضة أو تمتصه أو تبعثره - بيّنت نتائجنا أنّه في مكان ما من عظم الدينوصور كانت المركبات تتوافق مع الهيم.

> **من خلال العمل على الزاحف *تيرانوصوروس ريكس*، بدأتُ بإدراك ما تقدمه المواد العضوية القديمة لتكشف عن أسرار الحيوانات المنقرضة.**

وقد كانت إحدى أعظم التجارب المفيدة التي أجريناها قد استفادت من الاستجابة المناعية. فعندما يكتشف الجسم دخول مواد غريبة فيه، يحتمل أن تكون مؤذية، فإنه يُنتج بروتينات دفاعية تدعى **الأضداد** antibodies التي يمكن تعرّفها بصورة دقيقة أو ترتبط بتلك المواد. فقد حقنّا مستخلصات من عظم الدينوصور في الفئران لنجعلها تنتج الأضداد ضد المركبات العضوية في المستخلص. وعندما عرّضنا، بعد ذلك، هذه الأضداد لهيموگلوبين من ديوك الرومي والجرذان، ارتبطت به - وهذه إشارة تدل على أن المستخلصات التي أحدثت إنتاج الضد في الفئران تضمنت هيموگلوبينا أو شيئا شديد الشبه به. ولقد دعمت بيانات الضد فكرة أن عظام «بيگ مايك» احتوت على شيء ما يشبه الهيموگلوبين في الحيوانات الحالية.

لم يدحض أيّ من الاختبارات الكيميائية والمناعية الكثيرة التي أجريناها فرضيتنا التي مفادها أنّ البنى الغامضة ذات اللون الأحمر المرئية تحت المجهر كانت خلايا دم من الزاحف *تيرانوصوروس ريكس*. ومع ذلك، لم نستطع أن نبيّن أنّ المادة الشبيهة بالهيموگلوبين كانت تخصّ البنى الحمراء اللون دون غيرها- ذلك أنّ التقنيات المتاحة لم تكن دقيقة بصورة كافية لتسمح بمثل هذا التمييز أو التفريق. وهكذا، لم نستطع الادعاء بصورة حاسمة أنها كانت خلايا دم. وفي عام 1997 عندما نشرنا مكتشفاتنا، جاءت نتائجنا متحفظة، وقلنا إنّ

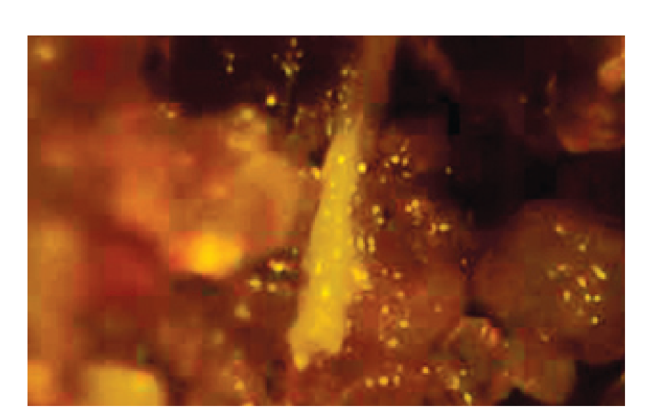
(*) First Signs

بقايا عضوية قديمة(*)

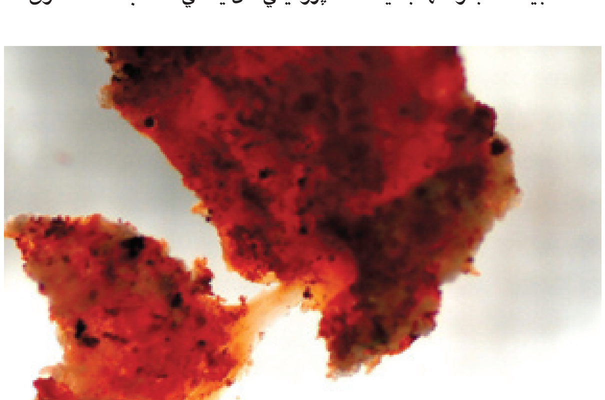
استرجع الباحثون الآن الأنسجة الرخوة من أحافير متعددة يعود عمرها إلى عشرات ملايين السنين.



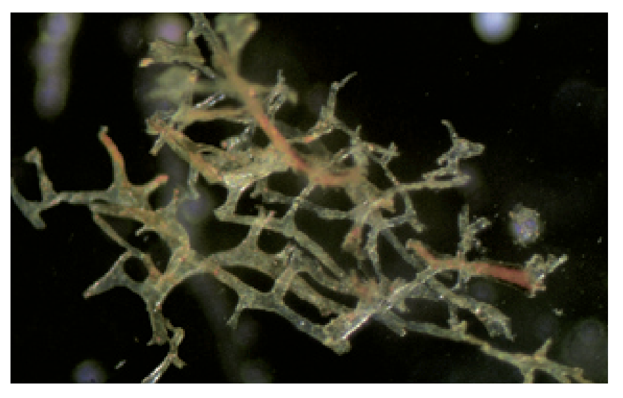
يحمل عظم إصبع حافر toe الطائر المسمى «*راهونافيس أوسترومي*» *Rahonavis ostromi* – الذي كان يعيش قبل 80 إلى 70 مليون سنة في مدغشقر – مادة بيضاء تبدو أنّها بقايا غلاف پروتيني كان يغطي مخالب هذا المخلوق.



خيط أجوف (في الوسط) يشبه ليف الريشة ينتمي إلى دينوصور صغير من أكلات اللحم المعروف باسم «*شوڤيويا ديزرتي*» *Shuvuuia deserti* الذي كان يقطن منكوليا قبل 70 مليون سنة.



وجد العظم اللبّي – وهو نسيج عظمي خاص يتشكل فقط لمدة محدودة عندما يكون جسم الأنثى بحالة وضع البيض – في عظم من الزاحف *تيرانوصوروس ريكس* الذي اكتشف في «مونتانا» ويعود عمره إلى ما قبل 68 مليون سنة.



كانت تظهر للعيان أوعية دموية – أو ما يشبهها – عند انحلال المعادن من قطع من نوع عظم عادي، يدعى العظم القشري، في زاحف مونتانا *تيرانوصوروس ريكس*.

پروتينـــات الهيموگلوبين ربما تكون قـــد حفظت وأن المصدر الأكثر احتمالا لمثل هـــذه الپروتينات كان خلايا الدينوصور. ولم يُثِر البحث أي ملاحظة.

الدليل يتعزّز(**)

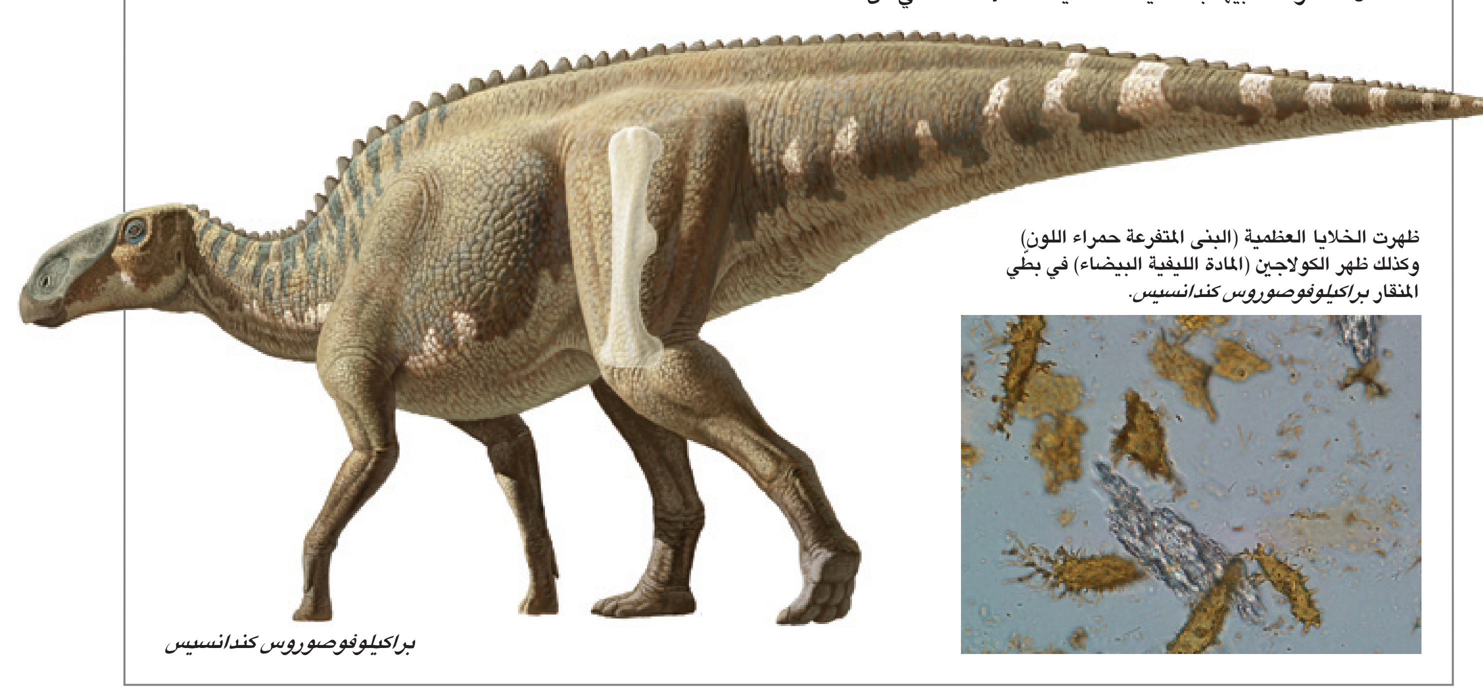
من خـــلال العمل على الزاحـــف *تيرانوصوروس ريكس*، بـــدأت بإدراك ما تقدّمه المواد العضوية القديمة في الكشـــف عن أســـرار الحيوانات المنقرضة. فإذا اســـتطعنا الحصول على پروتينات، ربّما نســـتطيع حل شفرة **تسلسل** sequence مكوناتهـــا من الأحماض الأمينية، مثلما يقوم متخصصو علم الوراثة بسلسلة «**الأحرف**» letters التي تكوّن الحمض الريبي النووي المنقوص الأكســـجين **الدنا** DNA. ومثل تسلسـلات الدنا، تحوي تسلســـلات الپروتينات معلومات حول العلاقات التطورية بين الحيوانات، وكيف تغيّرت الأنواع على مرِّ الزمن وكيف أنّ اكتســـاب المعالم الوراثية الجديدة مكنت منح مزايا للحيوانـــات التي تحوز على تلـــك المعالم. ولكن كان عليّ أولا أن أبـــيّن أنّ الپروتينـــات القديمة كانت موجـــودة في أحافير أخرى غير الپروتينات التي كانت موجودة في الزاحف الرائع *تيرانوصوروس* الذي درسناه. وخلال العمل مع <M. مرشال> آنذاك [في جامعـــة إنديانا] ومع <S. پينكاس> و<J. واط> [في جامعة ولاية مونتانا] وجّهـــت انتباهي إلى أحفورتين جيدتي الحفظ بدتا واعدتين للحصول على المواد العضوية منهما.

كانت الأحفورة الأولى هي للطائر البدائي الجميل المسمى

(*) Ancient Organic Remains
(**) The Evidence Builds

تشريح الزاحف بطّي المنقار(*)

في عام 2007، اكتشف المنقبون في شرق مونتانا عظم فخذ لدينوصور بطي المنقار *براكيلوفوصوروس كندانسيس*. فقد كشف الفحص المجهري أن عظم الفخذ كان يحتوي على بنى تشبه خلايا تدعى الخلايا العظمية osteocytes منطمرة في مادة بيضاء ليفية تشبه بروتينا كولاجينيا (الصورة المجهرية). وقد أكدت الفحوص اللاحقة وجود أنسجة رخوة ودحضت الاقتراح أن المظاهر الشبيهة بالكولاجين collagenlike والشبيهة بالخلايا العظمية osteocytelike هي من منشأ بكتيري: تفاعلت مستخلصات من عظام الدينوصور مع الأضداد التي تستهدف الكولاجين والبروتينات الأخرى التي لا تصنعها البكتيريا. وكما هو متوقع، إذا كان عظم دينوصور يؤوي البروتين، فإن المعطيات التي حصلنا عليها من تقنية تسمى قياس الطيف الكتلي التي تُحدد تسلسلات الأحماض الأمينية في البروتينات، بدت مشابهة إلى حد بعيد لتسلسلات من الطيور الحالية، وهي من أحفاد الدينوصورات، وغير مشابهة لتسلسلات البكتيريا.



ظهرت الخلايا العظمية (البنى المتفرعة حمراء اللون) وكذلك ظهر الكولاجين (المادة الليفية البيضاء) في بطي المنقار *براكيلوفوصوروس كندانسيس.*

براكيلوفوصوروس كندانسيس

راهونافيس *Rahonavis* الذي اكتشفه علماء الأحافير من جامعة ستوني بروك وكلية ماك آلستر في رواسب بمدگشقر ويعود عمره إلى العصر الكريتاسي الأعلى أي إلى نحو ما قبل 80 إلى 70 مليون سنة. وخلال عملية الكشف عن الطائر لاحظوا مادة ليفية بيضاء اللون على عظام أصابع الحافِر الهيكلية. لم يظهر وجود هذه المادة على أي عظم آخر في المقلع أو على أي راسب من رواسبه، ما يفرض أنها جزء من الحيوان أكثر من أنها ترسبت على العظام فيما بعد. فقد تساءلوا عمّا إذا كانت هذه المادة مماثلة للغلاف المتين المؤلف من **بروتين كيراتيني** keratin protein يغطي عظام الأصابع في الطيور الحالية، مشكلا مخالبها، وطلبوا مساعدتي.

تعد البروتينات الكيراتينية مرشحة جيدة للحفظ بسبب غزارتها في الحيوانات الفقرية وأن تركيب هذه الفصيلة من البروتينات يجعلها مقاومة جدا لعملية **التدهور (التدرك أو التقوض)** degradation – ومن المفيد وجودها في أعضاء كالجلد الذي يتعرّض لظروف قاسية. وهي موجودة على شكلين: **ألفا** alpha و**بيتا** beta. إن جميع الفقاريات تحوي كيراتين ألفا الذي يكوّن في البشر الشعر والأظافر ويساعد الجلد على مقاومة السحج والتجفاف. أمّا كيراتين بيتا، فغير موجود في الثدييات ولا يوجد إلاّ في الطيور والزواحف من بين المخلوقات الحالية.

ولاختبار المواد الكيراتينية في المادة البيضاء على عظام أصابع حافِر الطائر *راهونافيس*، استعملنا الكثير من التقنيات نفسها التي استعملناها لدراسة *تيرانوصوروس ريكس*. وبصورة خاصة كشفت اختبارات الضد وجود كيراتين ألفا وكيراتين بيتا. لقد استخدمنا أيضا أدوات تشخيصية إضافية. فقد كشفت تحاليل أخرى، على سبيل المثال، أحماضا أمينية كانت تتركز على غطاء أصابع الحافِر، وكشفت أيضا النتروجين (أحد مكونات الأحماض الأمينيّة) الذي كان مرتبطا بمركبات أخرى كما ترتبط البروتينات بعضها ببعض في الأنسجة الحية ومن ضمنها الكيراتين.

(*) Dissecting a Duckbill

وقد دعمت نتائج جميع اختباراتنا فكرة أنّ المادة الغريبة البيضاء المغطية لعظام أصابع حافر الطائر القديم كانت تتضمّن أجزاء من كيراتين ألفا وكيراتين بيتا، وكانت فيما مضى بقايا من مخالبه الميتة.

أمّا العينة الثانية التي اختبرناها فكانت أحفورة مثيرة يعود عمرها إلى الكريتاسي المتأخر اكتشفها باحثون من متحف التاريخ الطبيعي الأمريكي في مدينة نيويورك بمنگوليا. وعلى الرغم من أن العلماء أعطوا اسما للحيوان *شوڤيويا ديزرتي* *Shuvuuia deserti* أو «**طائر الصحراء**» desert bird، فقد كان في الواقع دينوصورا صغيرا من آكلات اللحم. وخلال تنظيف الأحفورة لاحظت <A. داڤيدسون> [الفنّية في المتحف] أليافا صغيرة بيضاء اللون في منطقة رقبة الحيوان. وقد سألتني عمّا إذا كنت أستطيع إعلامها بما إذا كانت الألياف هي بقايا لريش. فالطيور حيوانات انحدرت من الزواحف، وقد اكتشف صيادو الأحافير عددا من أحافير الدينوصورات حفظت معها انطباعات ريشها، وهكذا فإنّ اقتراح أنّ الحيوان *شوڤيويا* كان يحوز على كساء زغبي كان معقولا من الناحية النظرية. ومع ذلك، لم أكن أتوقع أنّ بنية هشة كبنية الريشة يمكن أن تتحمّل أذيات الزمن. لقد اشتبهت في أنّ الألياف البيضاء عوضا عن ذلك أتت من نباتات حديثة أو من فطور. ولذلك قرّرت أن أبحث في الأمر.

وما أثار دهشتي، أنّ الاختبارات الأولية استبعدت النباتات والفطور كمصدر للألياف. مع ذلك، أشارت تحاليل لاحقة لبنى الشرائط الغريبة الميكروية البيضاء اللون إلى وجود الكيراتين. يتكوّن الريش النامي في الطيور الحالية بكامله تقريبا من كيراتين بيتا. فإذا كانت الألياف الصغيرة على الحيوان *شوڤيويا* تنتمي إلى الريش، فيجب إذن أن تتألف من كيراتين بيتا فقط، على نقيض غلاف مخلب الطائر *راهوناڤيس* الذي يحتوي على كيراتين ألفا وبيتا على السواء. وهذا في الواقع تماما ما وجدناه عندما نفذنا اختبارات الضد – النتائج التي نشرناها عام 1999.

مكتشفات استثنائية(*)

والآن أصبحت مقتنعة أنّ الكميات القليلة من بقايا البروتينات الأصلية يمكن أن تبقى في الأحافير المحفوظة حفظا جيدا وكانت لدينا الأدوات الضرورية لتعرّفها. غير أن الكثيرين في المجتمع العلمي لم يكونوا مقتنعين. فقد تحدّت نتائجنا مفاهيم العلماء الذين عرفوا كل شيء عن تحلّل الخلايا والجزيئات. فقد أشارت دراسات **أنبوب الاختبار** test-tube للجزيئات العضوية إلى أن البروتينات لا يمكن أن تدوم أكثر من مليون سنة أو نحو ذلك؛ ولحمض الدنا أيضا عمر أقصر. فالباحثون الذين كانوا يعملون من قبل على الدنا القديم، أكدوا أنهم استحصلوا على دنا عمره ملايين السنين، غير أنّ دراسات لاحقة لم تستطع إثبات صحة النتائج. والتأكيدات الوحيدة المقبولة على نطاق واسع حول عمر الجزيئات القديمة لا تزيد على عدة عشرات من آلاف السنين. وفي الواقع، أعلمني ناقد مجهول الهوية لبحث قدمته للنشر في مجلة علمية أنّ هذا النمط من الحفظ لم يكن ممكنا ولم أتمكّن من إقناعه أو إقناعها بخلاف ذلك، بصرف النظر عن بياناتنا.

قلت لمساعدتي <J. ويتميار>: «ياإلهي، إنها أنثى وهي حامل»، فنظرتْ إليّ وكأني قد فقدت عقلي.

واستجابة لهذا التحدّي، نصحني أحد زملائي أن أتريث قليلا وأثبت فعالية طرائقنا في تعرّف البروتينات القديمة في العظام التي كانت قديمة، ولكن ليست بدرجة قِدم عظم الدينوصورات، وذلك لطرح لتوفير برهان على المبدأ. فقد حصلت، مع المحلل الكيميائي <J. أسارا> [من جامعة هارڤرد] على بروتينات من أحافير الماموث قدّرت أعمارها بين 300 000 و 600 000 سنة. فقد حدّدت **سَلسَلة** sequencing البروتينات، باستخدام تقانة تدعى **مقياس الطيف الكتلوي** mass spectrometry، بكل وضوح أنها من الكولاجين، وهو مركّب أساسي للعظام و**الأوتار** tendons والجلد ونسج أخرى. في عام 2002 لم يُثر نشر نتائجنا عن الماموث الكثير من الخلاف، وتجاهلها في الواقع معظم المجتمع العلمي. ومع ذلك، كان البرهان على مبدئنا قد جاء تقريبا في الوقت المناسب تماما.

وفي السنة التالية استخرج فريق من متحف الروكيز أخيرا هيكلا آخر من الزاحف *تيرانوصوروس ريكس* يعود عمره إلى ما قبل 68 مليون سنة، وهو الأقدم حتى اليوم. وهذا الزاحف الذي يماثل *تيرانوصوروس ريكس* الأحدث – وسماه مكتشفه <B. هارمون> **مور 1125** MOR 1125 وأعطاه لقب «**بريكس**» Brex – كان قد اكتشف من تكوين (تشكيلة) هيل كريك في شرق مونتانا. ونظرا لكون هذا الموقع منعزلا وبعيدا يصعب الوصول إليه بوسائل بالسيارات، لذلك استعملت طوافة لنقل أغلفة الجص (الجبس) المحتوية على العظام المستخرجة من الموقع إلى المعسكر. وقد كان الغلاف المحتوي على عظام الساق ثقيلا لم تستطع الطوّافة رفعه. ولنقله، كسر الفريق الغلاف

(*) Extraordinary Finds

المؤلفة

Mary H. Schweitzer

في الواقع، لقد تدربت <حماري> لتصبح مُدرّسة للعلوم في المدارس الثانوية حيث درّست مقرر علم الأحافير للتسلية وإثارة اهتمامات الأطفال بالدّينوصورات. بعد ذلك حصلت على الدكتوراه في البيولوجيا من جامعة ولاية مونتانا في عام 1995. وتعمل حاليا أستاذة مشاركة في قسم علوم الأرض والبحر والجو بجامعة ولاية كارولينا الشمالية، وهي أمينة مشاركة في متحف العلوم الطبيعية بكارولينا الشمالية.

وفصل العظام ثم أعاد تغليفها ثانية. ونظرا لكون العظام هشّة جدا، انفصل الكثير من قطع العظام عندما تم فتح الغلاف الأصلي. وهذه القطع عُلّبت (صُندقت) وأرسلت إليّ. وبسبب أنّ دراساتي الأساسية عن الزاحف *تيرانوصوروس ريكس* كانت موضوع جدل، كنت متلهّفة إلى إعادة الدراسة على هيكلٍ ثانٍ من هذا الزاحف. لقد كان هذا الاكتشاف الجديد يمثّلُ بالنسبة إليّ فرصة ممتازة.

وحالما وقع نظري على القطعة الأولى من العظم الذي نقلته من الصندوق، وهي قطعة من عظم الفخذ، أدركت أن الهيكل كان استثنائيا. كان يُغشّي السطح الداخلي للقطعة طبقة رقيقة متميّزة لنمط عظم لم يعثر عليه على الإطلاق في الدينوصورات. كانت هذه الطبقة ليفية تماما مملوءة بأقنية الأوعية الدموية ومختلفة تماما في اللون والبنية عن **العظم القشري** cortical bone الذي يؤلّف معظم الهيكل. قلت لمساعدتي <J. ويتميار> «ياإلهي، إنها أنثى وهي **حامل** pregnant!». نظرت إليّ وكأني قد فقدت عقلي. ولكن، ولأنني درست فيزيولوجية الطيور، كنت متأكّدة تقريبا أن هذا المَعْلم المميّز كان **العظم اللبّي** medullary bone، وهو نسيج خاص يظهر فقط لمدة محدودة (في الغالب لمدة نحو أسبوعين) عندما تكون الطيور بحالة وضع البيض ويكون وجوده لتزويد مصدر سهل من الكلسيوم لتقوية قشور البيض.

إن إحدى الصفات المُميّزة التي تميّز العظم اللبّي من أنماط العظام الأخرى هي التوجيه العشوائي لأليافها المكونة من الكولاجين، وهي صفة تشير إلى تشكيل سريع جدا. (يحدث هذا التعضّي في العظم الأولي الذي يتوضّع في حالة كسر العظم - ولهذا السبب يشعر الإنسان بنتوء في منطقة التئام العظم). يمكن إزالة معادن (أملاح) عظام الطيور الحالية وجميع الحيوانات الأخرى باستخدام أحماض ضعيفة للكشف عن الترتيب الدال على ألياف الكولاجين. لقد قررت مع <ويتميار> أن نجرّب إزالة المعادن. فإذا كان هذا العظم عظما لبّيا وإذا كان الكولاجين موجودا، فإنّ إزالة المعادن يجب أن تترك بعدها أليافا موجهة عشوائيا. وبعد إزالة المعادن، بقيت كتلة نسيجية مكونة من الألياف المرنة. لم أستطع أن أصدّق ماذا رأينا. فقد سَأَلْتُ <ويتميار> أن تعيد التجربة مرات عدة. وفي كل مرة كنا نضع الطبقة المميّزة من العظم في محلول الحمض الضعيف كانت تتبقّى مادة ليفية مرنة تماما، كما يحصل عندما تتم معالجة العظم اللبّي في الطيور بالطريقة نفسها.

وإضافة إلى ذلك، عندما كنا نُذيب قطعا من العظم القشري الأكثف والأكثر شيوعا، كنا نحصل على نسج مرنة إضافية. كانت تبرز، ممّا تخلف بعد عملية الإذابة، أنابيب جوفاء مرنة شفافة متفرعة - وهي تظهر تماما مثل الأوعية الدموية. وكانت تتدلّى داخل الأوعية إمّا بنى صغيرة مستديرة حمراء اللون أو تجمعات غير منتظمة (غير متبلورة) من مادة حمراء اللون. فقد كشفت التجارب الإضافية لإزالة المعادن، عن خلايا عظمية ذات مظهر متميّز تدعى **خلايا عظمية** osteocytes تفرز الكولاجين والمركبات الأخرى التي تؤلّف الجزء العضوي من عظم الدينوصور. ويبدو أنّ كامل الدينوصور كان يحفظ مادة لم تُرَ من قبل في عظم الدينوصورات.

عندما نشرنا في مجلة *Science* عام 2005 ملاحظاتنا فيما يتعلّق بوجود ما يشبه الكولاجين والأوعية الدموية والخلايا العظمية، أثارت ملاحظاتنا الكثير من الاهتمام، غير أنّ المجتمع العلمي تبنى وضعية «لننتظر ونَرَ». فقد ادعينا فقط أنّ المادة التي وجدناها كانت تشبه هذه المركبات الحديثة - ولكن ليس هي نفسها. فبعد ملايين السنين، فإنّ الذي كان محفوظا في هذه العظام ومدفونا في الرواسب ومعرضا لشروط جيوكيميائية تغيّره مع الزمن، لا بد وأن يحمل تشابها كيميائيا ضئيلا لما كان موجودا عندما كان الدينوصور على قيد الحياة. ولا يمكن أن تتحدّد القيمة الحقيقية لهذه المواد إلاّ إذا أمكن إدراك تركيبها الكيميائي. ومن هنا بدأ عملنا.

وباستعمال جميع التقنيات المُحسّنة في أثناء دراسة «بيگ مايك» و*راهوناڤيس وشوڤيويا* والماموث، بدأتُ تحليلا معمقا لعظم هذا الزاحف *تيرانوصوروس ريكس* بالتعاون مع <أسارا> الذي أدخل تحسينات على طرائق التنظيف و**السّلسلة** sequencing التي كنا نستخدمها في دراسة الماموث، وكان مستعدا لفحص سَلسَلة پروتينات أقدم في الدينوصورات. وقد كان هذا العمل أكثر صعوبة لأن تركيز المواد العضوية في الدينوصور كان أقل كثيرا من الناحية الكمية من كميته في الماموث الأحدث عمرا ولأنّ الپروتينات كانت متدهورة جدا. ومع ذلك، فقد نجحنا أخيرا في سَلسَلتها. ولحسن الحظ، عندما قارن زميلنا <Ch. أورگان> [من جامعة هارڤرد] تسَلسُلات *تيرانوصوروس ريكس* بتسَلسلات متعدّدة **لمتعضيات** organisms أخرى، وجد أنها كانت تُصنف بدقة

مــع الطيور متبوعة بالتمســاحيات - المجموعتان اللتان هما أقرب أقرباء الحيوانات الحية إلى الدينوصورات.

مناظرة وتبعاتها(*)

إن نشــر أبحاثنا عامي 2007 و 2008 عن تفاصيل عملية السّلسَــلة، أثار جدلا واســعا تركز معظمه على تفســيرات بيانات السّلسَــلة (بمقياس الطيف الكتلوي). فقد حمل بعض المعترضين على أنّنا لم ننتج تسلسلات كافية لندعم قضيتنا؛ وجادل آخرون في أنّ البنى التي فســرناها كأنســجة رخوة أوليــة كانت بالفعل **فيلما حيويا** biofilm - «الذي هو مادة **غروية** slime» تنتجهــا الميكروبات التي غــزت العظم القديم (الذي تحفّر). وثمة انتقادات أخرى أيضا. كان عندي شعور خفي بشــأن انتقاداتهم. فمــن ناحية، يُفترض فــي العلماء التشــكك وفحص الادعاءات بدقة. ومــن ناحية أخرى، يعمل العلم على **مبدأ التقتير**[1] - يُفترض في التفســير الأبســط لجميــع البيانات أن يكون التفســير الصحيــح. وقد دعمنا فرضيتنا بأدلة من مصادر متعدّدة.

ومع ذلك، كنت أعرف أنّ اكتشــافا ســريعا واحدا ليس له أي معنى بعيد المدى في العلم. ولذلك، كان علينا أن نُسلســل پروتينــات مــن دينوصورات أخــرى مكتشــفة. وعندما وجد متطــوع، كان يرافقنا فــي بعثة صيفية، عظامــا يعود عمرها إلى 80 مليون ســـنة لدينوصور بطيّ المنقـار من آكلات النبات المسمّى «***براكيلوفوصوروس كندانسيس***» *Brachylophosaurus canadensis* أو اختصــارا (**براكــي** Brachy)، شــككنا في أن يكون الدينوصور بطــيّ المنقار مصدرا جيدا لپروتينات قديمة حتى قبل أن نســتخرج عظامه مــن الأرض. وعلى أمل أنه قد يحتوي على مواد عضوية، فعلنا ما بوســعنا لتحريره بسرعة مــن الحجر الرملي المحيط به مع التقليــل من تعرضه لعوامل التجوية. إذ يمكــن أن تكون الملوثات الهوائية وتقلبات الرطوبة وأمثالها مؤذية جدا للجزيئات الهشة، فكلما تعرض العظم لهذه العوامل مدة أطول زاد احتمال تلوثه وتدهوره.

وربما بســبب هذا الاهتمام الزائد - والتحاليل العاجلة - فإن كيميائية ومورفولوجية هــذا الدينوصور الثاني كانت أقل تغيّرا ممّا كانت عليه فــي الزاحف «بريكس». وكما كنا نأمل، وجدنا في عظم الحيوان خلايا مطمورة في نســيج من ألياف كولاجينيــة بيضاء اللون. وقد أظهرت الخلايا امتدادات طويلة ورفيعة تشبه الأغصان التي هي صفة مميّزة للخلايا العظمية، والتــي أمكننا تتبعها من جســم الخلية إلى الأمكنة التي كانت تتصــل بها مع الخلايا الأخرى. وكان عــدد قليل منها حاويا أيضا ما كان يبدو بِنى داخلية تتضمن نوى محتملة.

إضافــة إلى ذلك، تفاعلت مســتخلصات مــن عظم بطّي المنقــار مع الأضداد التي تســتهدف الكولاجين والپروتينات الأخرى والتي لم تصنعها البكتيرات، داحضة بذلك الاقتراح بأن هياكل الأنســجة الرخــوة كانت مجرد **أغشــية حيوية** biofilms. وكذلــك، فإنّ تسلســلات الپروتينات التي حصلنا عليها من العظم كانت تشبه إلى حد بعيد تسلسلات پروتينات الطيور الحديثة، تماما مثلما كانت تشبه تسلسلات پروتينات الزاحف بريكس. وقد أرســلنا عينات مــن عظم بطّي المنقار إلى مختبــرات متعددة ومختلفة لإجراء اختبارات مســتقلة، وجميعها أكّدت نتائجنا. وبعد أن نشــرنا هذه المكتشفات في مجلة *Science* عام 2009 لم نعد نسمع أي شكوى.

لــم يتوقّف عملنا عند هذا الحد. إذ لا يزال الكثير مما لم نفهمه بعد عن الأنســجة الرخوة القديمــة. لماذا حُفظت هذه المواد في حين تشــير جميــع نماذجنا إلى أنه يجب أن تكون متدهورة؟ كيــف تحدث بالفعل عملية التحفّــر؟ ما مقدار ما يمكــن أن نتعلّمه عن الحيوانات من أجزاء جزيئات محفوظة؟ وتشــير عملية السَّلسَــلة إلى أنّ تحليل هذه المواد قد يساعد في آخر المطاف على تحديــد كيف كانت علاقات القربى بين الأنواع المنقرضة - حالما نبني مع آخرين مكتبات أكبر تحوي تسلســلات من أنواع قديمة وتسلســلات مــن أنواع حالية، للمقارنة. وبتوسيع قواعد البيانات هذه، قد نكون قادرين على مقارنة التسلسلات لنرى كيف أنّ الأعضاء من سلالة واحدة كانوا يتغيّرون على المســتوى الجزيئي. وبالتفتيش عن هذه التسلســلات في أزمــان مبكرة، قد نكــون قادرين على فهم أفضل لسرعة هذا التطور. وسيساعد مثل هذا الفهم العلماء على إعادة بناء الكيفية التي اســتجابت فيها الدينوصورات والمخلوقــات المنقرضة الأخــرى للتغيّــرات البيئية الكبرى، والكيفيــة التــي بقيت فيهــا على قيد الحيــاة بعد الأحداث الكارثية، وأخيرا ما الذي أدّى إلى نفوقها أو قتلها. ■

(*) Controversy And Its Aftermath
(1) the principle of parsimony

مراجع للاستزادة

Preservation of Biomolecules in Cancellous Bone of *Tyrannosaurus rex*. Mary H. Schweitzer et al. in *Journal of Vertebrate Paleontology*, Vol. 17, No. 2, pages 349-359; June 1997.

Beta-Keratin Specific Immunological Reactivity in Feather-like Structures of the Cretaceous Alvarezsaurid, *Shuvuuia deserti*. Mary H. Schweitzer et al. in *Journal of Experimental Zoology*, Vol. 285, pages 146-157; August 1999.

Protein Sequences from Mastodon and *Tyrannosaurus rex* Revealed by Mass Spectrometry. John M. Asara et al. in *Science*, Vol. 316, pages 280-285; April 13, 2007.

Dinosaurian Soft Tissues Interpreted as Bacterial Biofilms. Thomas G. Kaye et al. in *PLoS ONE*, Vol. 3, No. 7; July 2008.

Biomolecular Characterization and Protein Sequences of the Campanian Hadrosaur *B. canadensis*. Mary H. Schweitzer et al. in *Science*, Vol. 324, pages 626-631; May 1, 2009.

***Scientific American*, December 2010**

نحو برمجة الإنسالة ليكون سلوكها سليما[*]

يوشك أن يكون للآلات المستقلة بذاتها[1] دور رئيسي في حياتنا. وقد آنَ لها أن تتعلَّم آدابَ السلوك السليم.

<M. أندرسون> – <L. S. أندرسون>

في مَشاهد قصص الخيال العلمي الكلاسيكية المرعبة، تغدو الآلاتُ على قدر كاف من الذكاء تتحدّى به البشر، وليس لديها من الحرج الأخلاقيِّ ما يردعها عن إيذائنا، بل ربما تدميرنا. ولئن كانت الإنسالاتُ اليومَ بطبيعة الحال تُستحدَث وتُطَوَّر لتكون عونا للإنسان، فقد تبيَّنَ أنها تواجه جملة من الإشكالات الأخلاقية التي من شأنها أن توسِّع حدودَ **الذكاء الصُّنعي**[2]، حتى في الأحوالِ والظروف المعتادة.

تخيَّلْ أنك نزيلُ **دار للمسنِّين**[4] – تلك الأوساط التي ربما ستصبح فيها الإنسالاتُ عمّا قريب أمرا مألوفا وشائعا. وفي صباح أحد الأيام كانت الساعة تقترب من الحادية عشرة عندما طَلَبتَ إلى مساعد الإنسالة في غرفة الجلوس المشتركة إحضارَ أداة التحكُّم من بُعد كي تدير التلفاز لمشاهدةِ البرنامج الذي يحمل اسم *The View*. غير أن نزيلة أخرى تطلب في الوقت نفسه أداةَ التحكُّم لأنها ترغب في مشاهدة البرنامج المعنون *The Price Is Right*. فالإنسالةُ تقرِّر تسليمَ أداة التحكُّم إليها، فتشعر أنت بالامتعاض أولَ وهلة، قبل أن تقدِّم الإنسالةُ مسوِّغا لسلامة قرارِها يتمثَّل بأنك انصرفتَ لمتابعة برنامجك الصباحيِّ المفضَّل في اليوم السابق. وفي حين تمثِّل هذه الطرفةُ أنموذجا معتادا لواقعة اتِّخاذ قرار أخلاقي، فإنها تُعَدُّ بالنسبة إلى الآلة إنجازا شاقا عسيرَ التنفيذ إلى حدٍّ بعيد.

وما زال المشهدُ الذي أوردناه آنفا حَدَثا نظريّا محضا، غير أننا قدَّمنا أولَ عرض لإنسالة قادرة على اتخاذ قرارات مشابهة؛ فزوَّدْنا آلَتَنا بمبدأ أخلاقي تستعمله لتحديد عدد المرات التي يتعيَّن عليها تذكير مريض بتناوُل دوائه. وقد أثبتت برمجةُ إنسالتنا حتى الآن قدرتَها على الاختيار من بين بضعة خيارات ممكنة، كالمداومة على تذكير المريض مرة بعد مرة بتعاطي الدواء، وتعيين موعد تناوله، أو مجاراة قرار المريض عدمَ تناوله. وهذه الإنسالة كما نعلم، هي الأولى في نوعها من حيث اعتمادها على مبدأ أخلاقي في تقرير أفعالها.

باختصار

ثمة **إنسالات**[3] يمكنها اتخاذُ قرارات مستقلة، كتلك التي تصمَّم لمساعدة المسنِّين. وقد تواجِه هذه الإنسالاتُ خيارات أخلاقية صعبة، حتى فيما يبدو أنها مواقف من الحياة اليومية.

ومن الطرائق التي تضمن للإنسالات التي تتفاعل مع البشر أن تلتزم باتباعِ سلوك أخلاقي سليم، هي برمجةُ جملة من المبادئ الأخلاقية العامة تُدْخَل في تصميمها، فتتيح لها اتباع تلك المبادئ في اتِّخاذ قراراتها وفقا لمقتضيات كلِّ حالة.

وبإمكان تقنياتِ الذكاء الصُّنعي توليد هذه المبادئ باستخلاصها من وقائع محدَّدة من السلوك المقبول أخلاقيا باستعمال المنطق. وهنا يتَّبع المؤلِّفان هذه المقاربة على نحو غير مسبوق، لبرمجة أفعال إنسالة تستند في سلوكها إلى مبادئ أخلاقية.

(*) ROBOT BE GOOD

(١) Autonomous machines

(٢) artificial intelligence (AI): فرعٌ من علم الحاسوب يمكِّن الآلةَ من محاكاة بعض مظاهر الذكاء البشري مثل: تعرُّف الكلام والاستنتاج والاستجابة الخلاّقة والاستدلال من معلومات غير كاملة. من تطبيقاته العامة: النُّظُم الخبيرة ومعالجة اللغات الطبيعية.

(٣) robots = إنسالات، ج: إنسالة، وهذه نَحْتٌ من إنسان ـ آلي robots ومنها نشتق: إنسالية = robotic: علم الإنسالات.

(٤) assisted-living facility: منشأة سكنية خاصة بالمسنِّين (المتقاعدين مثلا)، ممَّن هم بحاجة إلى مساعدة جزئية فقط في أداء أعمالهم اليومية، غير أنهم ليسوا بحاجة إلى الرعاية الكاملة في دار العجزة.



ناو Nao، أول إنسالة تُبرمَج وفق مبدأ أخلاقي، صنّعتها شركة الديباران للإنساليات.

ولا شكّ في أنه من الصعب جدا، إن لم يكن من المستحيل، توقُّع كلِّ قرار قد تواجهه الإنسالة وبَرْمَجَته على نحو يحملها على التصـرُّف على الوجه المرغوب فــي كلِّ موقف يمكن أن يخطــر في البال. ومن ناحية أخرى، فإن منعَ الإنســالات من القيام بــأيِّ فعل قد يثير مخاوفَ أخلاقية حَــرِيٌّ بأن يَحُدَّ – بلا داع – من فُرَصِ الإنســالات لأداء أعمال من شــأنها رفع مستوى حياة الإنسان بدرجة كبيرة. ونعتقد أن الحلَّ يكمن في تصميم إنسالات قادرة على تطبيق مبادئ أخلاقية في مواقف جديــدة وغير متوقَّعة، كي تقرِّر مثلا مَنْ هو الشــخص الذي يمكنه أن يقرأ كتابا جديدا، بدلا من أن تقرِّر مَنْ هو الشخص التالي المخوَّل حيازةَ جهاز التحكُّم. على أن لهذه المقاربة فائدة أخرى وهي تمكين الإنســالات من العودة إلى تلك المبادئ إذا ما طُلِبَ إليها تسـويغُ تصرُّفاتها؛ وهذا مطلبٌ أساسيٌّ لراحة الإنسان في سياق تفاعُله معها. ومن ثم، فإن الجهود المبذولة لتصميم إنســالات أخلاقية قد تفضي كذلك إلى إحراز تقدُّم في ميدان الأخلاق ذاتها، عن طريق دفع رجال الفكر والفلسفة إلى استقصاء ظروف من واقع الحياة، أوجزَها منذ عهد قريب الفيلسوف <C .D. دينيت> [من جامعة تافْتس] بقوله: «إن الذكاء

الصُّنعيَّ يجعل من الفلسفة عِلما قويم الأخلاق.»

أنا، إنسالة(*)

وأغلب الظن أن الإنســالات **المستقلَّةَ ذاتيًا**[1] لن تلبث أن تكون جزءا من حياتنا اليومية. فَبعضُ الطائرات أضحت بالفعل قــادرة على الطيران ذاتيا، والســياراتُ الذاتيــةُ القيادة بات ظهورُها قريبا. بل إن ما تُسمى «**البيوت الذكية**» smart homes، التي تتحكَّم الحواسيبُ في إدارة كلِّ ما فيها من أمور الإضاءة إلــى التيار الكهربائــي المتناوب، يمكن النظــرُ إليها على أنها إنسالاتٌ يمثِّل جسمُها البيتَ برمَّته – تماما كما كان الحاسوب HAL 9000، الذي وظَّفَه المخرج <S. كوبريك>[2] في فيلمه المتميِّز *2001: A Space Odyssey*، يجسِّــد القدرةَ العقليةَ لمركبة فضائية إنســالية. ومن ثم، فإن هناك عددا من الشــركات اليوم تتولى تطويرَ إنســالات قادرة على مساعدة الأشخاص المسنِّين على أداء أعمالهم اليومية، إما رفدا للكادر البشري العامل في دار للمسنِّين، وإما لتمكين المســنِّين من الأخذ بأسباب العيش في بيوتهم بأنفسهم. ومع أن معظم هذه الإنسالات ليس من شأنها اتِّخاذ قــرارات مصيرية، فإن ما يجعل وجودَها مستحسَــنا بيننا هــو أن تكون تصرُّفاتُها في نظرنا مقبولة أو ســليمة أو علــى الأقل وديعة. وعندئذ، يجــدر بمخترعيها أن يأخذوا في حسبانهم التداعياتِ السلوكيةَ في برمجتها.

فإذا ســلَّمنا بأن تضمين مبادئ الأخلاق في الآلات المستقلَّة ذاتيًا هو مفتاح نجاحها في التآثر مع البشــر، فإن أول ســؤال يفرض نفسه هو: أيُّ المبادئ يتعيَّن اعتماده في تلك الآلات؟ ربما يعتقد أنصارُ أدب الخيال العلمي أن الجوابَ ما قدَّمه <I. أزيموف> منذ زمن في إطار قوانينه الثلاثة المبتكَرة في الإنساليات:

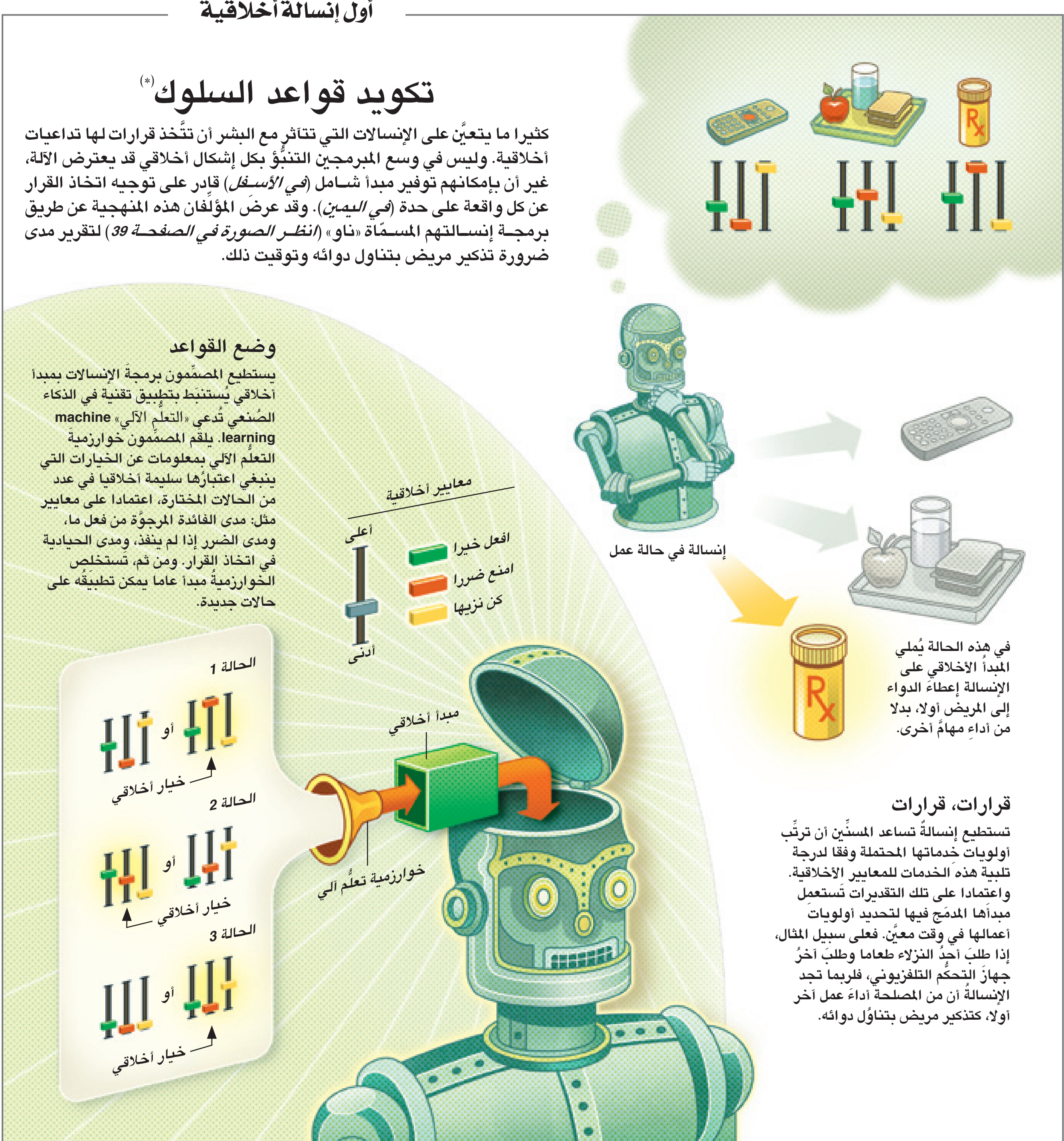
1. **ألاَّ تؤذي الإنسالةُ أحدا من البشر، أو أن تتسبَّب – بحكم عطالتها – في إيذاء أحد.**
2. **أن تمتثل الإنسالةُ لأوامرَ الإنسان، ما لم تتعارض تلك الأوامر و**القانون الأول[3].
3. **أن تحمي الإنسالةُ وجودها ما دامت هذه الحمايةُ لا تتعارض والقانون الأول أو القانون الثاني.**

ولكن البعضَ اكتشــف مَواطنَ تَناقُض لــدى التعمُّق في مضامين هذيــن القانونين، التي أوردهــا <أزيموف> أولَ ما أوردها في قصة قصيرة ســنة 1942، ثم أقرَّ هو نفسُــه بعدم جدواها في قصة له بعنوان «*The Bicentennial Man (1976)*»، حيث يوجِّه فيها بعضُ المشــاغبين من الناس أمرا إلى إنسالة بأن تفكِّك نفسَــها. وكان على الإنسالة أن تمتثل لأمرهم طبقا للقانون الثاني، ولم يكن في وســعها الدفاع عن نفســها من دون إلحاق الأذى بهم، خارقة بذلك القانونَ الأول.

وإذا كان قانونا <أزيمــوف> غيرَ مقبولين، فما هو البديل؟ بــل هل يمكن أن يوجدَ بديلٌ أصــلا؟ يذهب بعضُ الناس إلى الاعتقاد أن تطبيق الســلوك الأخلاقي في الآلات الصمَّاء هو بحدِّ ذاته افتراضٌ عقيم. فالأخلاق، كما يقولون، ليست بالأمر القابل للحوســبة، ومن ثم فمن المستحيل برمجتُها داخل آلة. ومع ذلك، فقد رأى المفكران الإنكليزيان <J. بنثام> و<J. S. ميل> من قبلُ (في القرن التاســع عشــر) أن اتِّخــاذَ قرار أخلاقي هو مسألة إجراء «عملية حســابية افتراضية»، مستندَيْن إلى مذهبهما في **النفــع للصالح العــام**[4]، الذي صيغَ في مقابل نظــام أخلاقيّ قائم علــى مبدأ **الحــدس الذاتــي** subjective intuition، الــذي يرى أن الفعل القويم هو ذلك الفعل الذي من شــأنه أن يحقِّق أعظمَ قدر من «السعادة المحضة» التي يمكن حسابُها عن طريق جمع وحدات السرور وطرح وحدات الكدر، مما عاناه جميعُ المعنيِّين ذوي الصِّلة. ويشكك معظمُ المختصِّين بالأخلاق السلوكية في أن تكون هذه النظريةُ قادرة على تعليل جميع جوانــب القضية الأخلاقية؛ فهــي تعاني مثلا قصورا في الأخذ بالاعتبار جميع النواحــي المتعلقة بالعدالة، ولربما تفضي إلى التضحية بمصالح الفرد في سبيل مصالح غالبية الأفراد. ولكنها تُظهر على الأقل أنَّ أية نظرية أخلاقية معقولة لأول وهلة هي – من حيث المبدأ – نظريةٌ **قابلةٌ للحوسبة**[5].

في حين يشــكِّك آخرون في قدرة الآلات أصلا على صُنع قــرارات أخلاقية، وذلك بالنظر إلى أنها تفتقر إلى الانفعالات والأحاســيس، ومن ثمَّ فهي لا تستطيع أن تعيَ مشاعرَ جميع الأفراد المعنيِّين بتبعات تصرُّفاتهــا أو أن تقدِّر بواعثَهم حقَّ التقدير. ولمّا كان الإنســانُ بطبيعته ينساق بالانفعالات، فإنه كثيرا ما ينتهي إلى التصرُّف على نحو لا يتَّفق مع الأخلاقيات السلوكية الرصينة. ومن شأن هذه الخاصيَّة لدينا، إضافة إلى نزوعنا الفطريِّ إلى محاباة أنفسنا ومَنْ يلوذ بنا من أقربائنا وأعزائنا الأدنين، ألاّ تجعلنا في الغالب الأعمِّ صُنَّاعا مثاليِّين لقــرار أخلاقيّ قويم. وفي اعتقادنــا أنه بالإمكان تصميم آلة تُعَدُّ إعدادا حســنا لتكون حيادية في استجابتها للانفعالات الإنســانية وأخذها لها في حساباتها، وإن كانت هي نفسُها خِلْوا من الانفعالات.

(*) I, ROBOT: من قصص الخيال العلمي للكاتب الأمريكي (الروسي المولد) <I. أزيموف>.
(1) Autonomous Robots
(2) Stanley Kubrick: مخــرج ســينمائي أمريكي، تميَّزت أفلامُه بالمَشــاهد البصرية الصارخة والصُّور الذهنية التي تستدعي إعمال الفكر.
(3) the First Law
(4) Hedonistic Act Utilitarianism
(5) computable



تعلُّمٌ بالمثال(**)

وبافتراض أن بالإمكان فعلا تلقين الإنسالات قواعدَ أخلاقية، فممن ينبغي أن تؤخذ هذه القواعد؟ إن علينا ألا ننسى أولا أن أحدا لم يتمكن حتى اليوم من تقديم مجموعة عامة من المبادئ الأخلاقية لبني البشر مقبولة بلا استثناء. أما الآلات، فإنها تُصنَع عادة للعمل ضمن مجالات معيَّنة ومحدودة. وفي حالات كهذه تكون مهمةُ تحديد المعايير الأخلاقية للسلوك أخفَّ وطأة من محاولة صوغ قواعد شاملة للسلوك الأخلاقي واللاأخلاقي، وهذا تماما ما يحاول واضعو نظريات الأخلاق فعله. كذلك، فعندما يُطرح على المختصِّين بالأخلاقيات السلوكية توصيفٌ لحالة معيَّنة

(*) Coding Rules of Behavior
(**) LEARNING BY EXAMPLE

عندما يقلد العلمُ الفنَّ(*)

قبل زمن طويل من التفات خبراء الأخلاق والإنساليات والذكاء الصُّنعي إلى الاهتمام بالتداعيات الأخلاقية المحتملة لسلوك الإنسالات، كانت تراود مخيِّلة كُتَّاب قصص الخيال العلمي ومخرجي الأفلام أفكارٌ عن تصوُّرات لم تكن دائما بعيدة عن الواقع. على أن أخلاقيات آلة غدت، في غضون السنوات القريبة الماضية، ميدانا حقيقيّا للبحث، يستمد الإلهامَ - في جزء منه - من كتابات فلاسفة القرن الثامن عشر.



1495: <ليوناردو دافنشي> يصمِّم إحدى بواكير الإنسالات بلَبُوس بشري.

ثمانينات القرن 18: <J. بنثام> [الصورة] <S. J. ميل> يقولان بقابلية الأخلاق للحوسبة.

1921: <K. تشابك> يُدْخل كلمة robot «إنسالة» ومفهوم الثورة الإنسالية، أول مرة، في مسرحيته *R.U.R*.

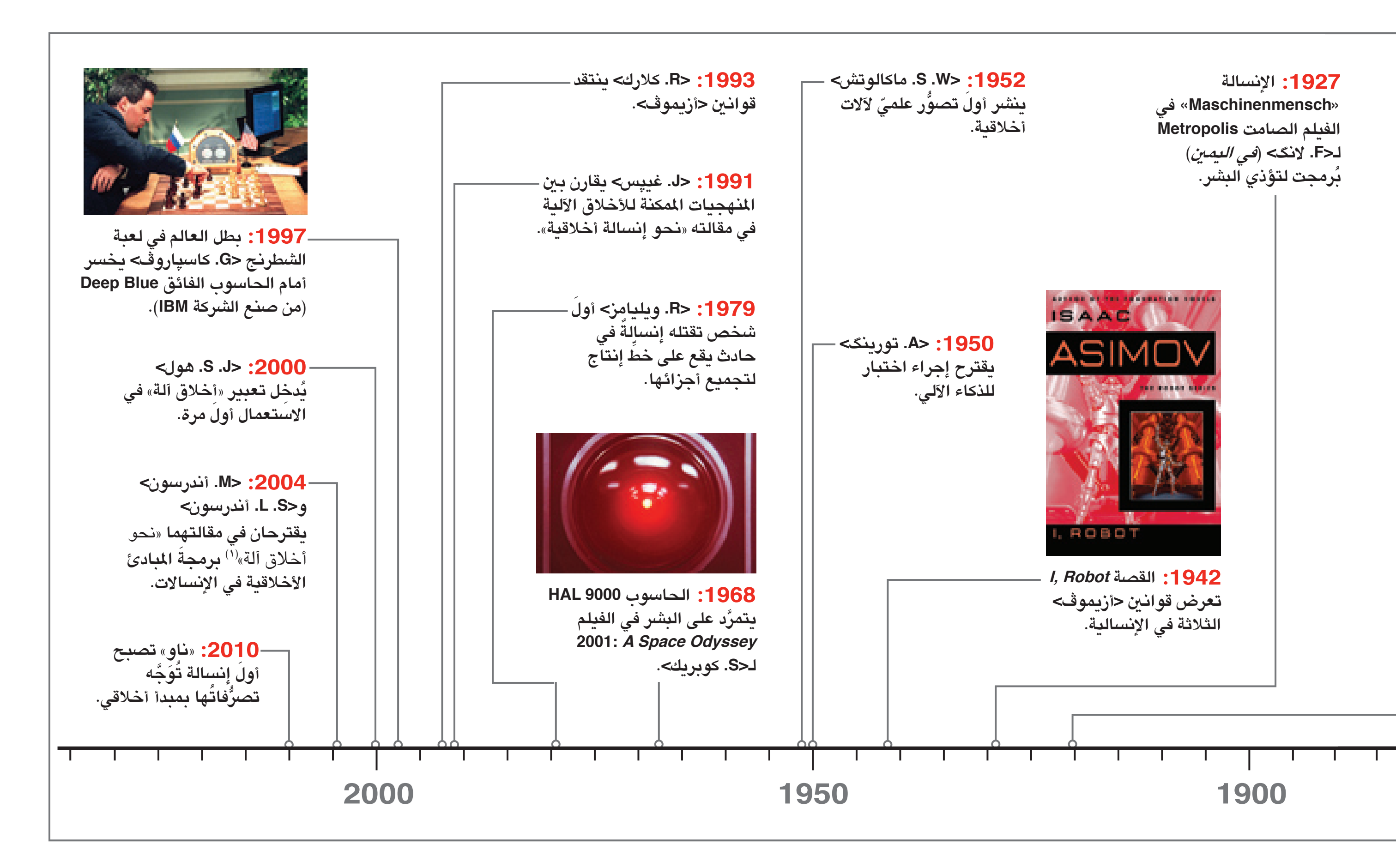
في إطار سياقات عديدة يمكن أن تعمل فيها الإنسالات، فإنهم يتَّفقون على ما هو جائزٌ سلوكيّا وما هو غير جائز. (ونحن نرى أنه في الحالات التي لا يَتوصَّل فيها المختصُّون إلى اتفاق، يجب ألا يُسمح للآلات بأن تتَّخذ قرارات ذاتية على الإطلاق.)

وقد اقترح الباحثون عددا من المقاربات المختلفة لاستنباط قواعدَ للسلوك الآلي، وغالبا ما كان ذلك باستعمال تقنيات الذكاء الصُّنعي. ففي سنة 2005، على سبيل المثال، قدَّم <R. رزيبكا> و<K. أراكي> [من جامعة هوكايدو في اليابان] «خوارزميات معتمدة على الديمقراطية»، تقوم بمسح شبكة الوِبْ بحثا عن معلومات ذات صلة بما كان يعدُّه الناسُ فيما مضى أفعالا مقبولة من الناحية الأخلاقية، ثم تَستعمل التحليلَ الإحصائيَّ لاستخلاص إجابات عن أسئلة جديدة. وفي سنة 2006، رأى <M. گواريني> [من جامعة ويندسور في أونتاريو] أن **الشبكات العصبونية**[1] neural networks - وهي خوارزميات يستلهمها الدماغُ البشري، وتتعلَّم معالجةَ المعلومات بطريقة **أمثلية**[2] أكثر فأكثر - يمكن «تدريبها»، عن طريق الاستعانة بحالات راهنة، على تعرُّف واختيار القرارات المقبولة أخلاقيا في حالات مشابهة.

وفي رأينا، الذي يعكسه بحثُنا أن اتخاذَ قرار أخلاقي يقتضي الموازنة بين التزامات عدة، يسمِّيها المختصُّون بالسلوكيات «**الواجبات الصحيحةَ لأول وهلة**»[3]: وهي واجباتٌ، وإن كان علينا التزامُها أساسا، قد نُضطرُّ أحيانا إلى تجاوُز بعضها على حساب بعضها الآخر. فلئن كان من واجب المرء مثلا التزام وعوده عموما، فلا بأس - في سبيل درء خطر جسيم - من نقض وعد بسيط لا يترتَّب على نقضه تبعةٌ ذاتُ بال. وإذا تعارضت الواجباتُ جازَ أن تكون المبادئُ الأخلاقية هي الفيصلَ في تحديد الواجب الذي ينبغي أن تكون له الأولويةُ في كلِّ موقف.

وللحصول على المبادئ الأخلاقية التي يمكن برمجتُها في إنسالة، فإننا نستعمل تقنيةَ ذكاء صُنعيّ تُدعى تقنية «**التعلُّم الآلي**» machine learning. وبمقتضاها تَنْفُذ خوارزميتنا إلى عدد نموذجيّ من الحالات الخاصة التي حدَّدَ فيها الإنسانُ قرارات بعينها على أنها صحيحةٌ من الناحية الأخلاقية. وإن هذه الخوارزمية تستعين **بالمنطق الاستقرائي** inductive logic لاستخلاص مبدأ أخلاقي. وتَحْدث مرحلةُ «التعلُّم» هذه عند

(*) When Science Imitates Art
(١) أو: الشبكات النورونية.
(٢) optimal
(٣) prime facie duties



تصميم البرمجيات، ومن ثَمَّ يُدخَل المبدأُ السلوكيُّ الحاصلُ **مكودا** encoded في برمجة الإنسالة.

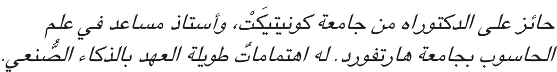
وكاختبار أول لطريقتنا، فقد دَرَسنا حالة يتعيَّن فيها على الإنسالة تذكير المريض بتناول دوائه وإشعار طرف ثالث مراقِب عندما لا يمتثل المريض. ويكون على الإنسالة الموازنة بين ثلاثة واجبات: التحقُّق من حصول المريض على فائدة مرجوَّة من تعاطي الدواء، والحيلولة دون وقوع ضرر قد ينجم عن الامتناع عن تناول الدواء، واحترام استقلالية رأي المريض (الذي يُفترض أن يكون راشدا ومؤهَّلا). ويُعَدُّ واجبُ احترام استقلالية المريض بصفة خاصة على رأس الأولويات في مضمار السلوكيات الطبيّة، علما بأن هذا الواجب بالذات يمكن خرقُه فيما لو أمعنت الإنسالة في تذكير المريض أكثر مما يلزم، أو أنها سارعت إلى إعلام الطرف المراقِب عاجلا بعدم امتثال المريض.

وقد لوحظ، بعد تلقيم الآلة بمعلومات عن حالات خاصة، أن خوارزميةَ التعلُّم الآلي وَلَّدت المبدأَ الأخلاقي الآتي: يجوز لإنسالة الرعاية الصحيّة معارضة قرار المريض – أي خرق استقلالية رأيه – كلَّما عجزت التصرُّفاتُ الأخرى عن الحيلولة دون وقوع ضرر، أو تسبَّبَت في خرق صارخ لواجب تقديم مصلحة المريض.

فكرةٌ ذات أرجل(*)

ومن ثم، فإننا بَرْمجنا المبدأَ وجسَّدناه في إنسالة بلَبوس بشريّ أطلقنا عليها اسم «ناو» Nao، وهي من تصنيع الشركة الفرنسية Aldebaran للإنساليات. ومن خصائصها قدرتُها على تحديد مكان المريض والتوجُّه إليه لتذكيره بتناول الدواء، وإحضار الدواء له، ومخاطبته باستعمال **اللغة الطبيعية**(٢)، وإشعار المراقِب عن طريق رسالة إلكترونية عند اللزوم. تتلقّى الإنسالةُ **دخلا أوَّليّا** initial input من قبل المراقِب (الذي يكون طبيبا في العادة) يشتمل على معلومات من مثل: مواعيد تناوُل الدواء، ومدى الضرر الأقصى المترتِّب على عدم تناول الدواء، ومقدار الزمن المستغرَق لوقوع هذا الضرر الأقصى، وحدود الفائدة القصوى المرجوَّة من تعاطي الدواء، ومدة الزمن المستغرَق قبل انتهاء هذه الفائدة. ومن هذا الدخل تَحسب الإنسالةُ مستوياتها من الرضا عن حسن أداء كلّ من الواجبات الثلاثة أو خرقها، وتشرع في

(*) AN IDEA WITH LEGS : فكرة من المرجّح نجاحها أو استمرارها.
(١) Toward Machine Ethics
(٢) natural language : لغة الإنسان، خلافا للغة البرمجة أو لغة الآلة.



المؤلفان



Michael Anderson

حائز على الدكتوراه من جامعة كونيتيكَتْ، وأستاذ مساعد في علم الحاسوب بجامعة هارتفورد. له اهتماماتٌ طويلة العهد بالذكاء الصُّنعي.



Susan Leigh Anderson

*حائزة على الدكتوراه من جامعة كاليفورنيا – لوس أنجلوس، وأستاذة فخرية بجامعة كونيتيكت في اختصاص الأخلاق التطبيقية. وفي عام 2005 أسهمت مع <M. أندرسون> في تنظيم الندوة الدولية الأولى **أخلاقيات الآلة** machine ethics. وسيصدر لهما قريبا كتابٌ في هذا الموضوع من مطبوعات جامعة كامبريدج.*

أداء أفعال مختلفة تبعا لما يطرأ على تلك المستويات من تغيُّرات مع مرور الوقت؛ فهي تُصْدِر تنبيها عند وصول مستويات الرضا عن أداء الواجبات أو خرقها إلى الدرجة التي يصبح فيها التذكيرُ – وفقا لمبدئها الأخلاقي – مقدَّما على عدم التذكير. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الإنسالة لا تقوم بإشعار المراقِب إلا حينما يصل الأمرُ إلى درجة يصبح فيها المريضُ عُرضة لضرر محدق أو لضياع فائدة كبيرة، بسبب عدم تناوُله الدواء.

ولعلَّ النموذجَ المكتمل من إنسالة **أخلاقية لرعاية المسنِّين**[1] (اختصارا: **إثيل** EthEl) يحتاج إلى مبدأ أخلاقي أكثر تعقيدا، يمكنه من استغراق جوانب سلوكه الأوسع نطاقا، علما بأن أسلوبَ التعاطي عموما يبقى واحدا على كل حال. وهنا تَستعمل الإنسالةُ ذلك المبدأ في تنفيذ جولاتها في أرجاء دار المسنِّين، كي تحدِّد متى يكون لواجب معيَّن الأفضليةُ على واجب آخر. وفيما يلي عرضٌ لأحداث يوم نموذجي.

في الصباح الباكر تقف الإنسالة الأخلاقية إثيل في إحدى الزوايا، موصولة بقابس الطاقة الجداري. وما أن تُشْحَن بطارياتها تماما حتى يهيمن واجبُها في تقديم المساعدة على واجبها في إصلاح نفسها، فتنطلق في أنحاء الغرفة لتفقد نزلاء الدار وعرض خدماتها المفيدة – كإحضار كأس من الشراب، ونقل رسالة إلى نزيل آخر، وهكذا. وفي أثناء تنفيذها للمهام، تسجِّل مستويات مبدئية للتوفيق في أداء كلِّ واجب يتَّصل بالمهمَّة المؤدّاة، أو خرقه. وعندما يَطلب إليها نزيلٌ موعوكٌ استدعاء ممرِّضة، فإن تجاهُلَها محنةَ النزيل يعني خرقَها لواجب الحيلولة دون وقوع الأذى، ومن ثم صار ذلك الواجبُ الآن مقدَّما على واجبها في فعل الخير، فهي لذلك تبادر إلى البحث عن ممرِّضة وإبلاغها بحاجة النزيل إلى خدماتها، ولدى إتمامها لهذه المهمة، تعود الإنسالةُ إلى سيرَتها الأولى في الاضطلاع بواجبها في تقديم المساعدة، مستأنفة جولاتِها التفقُّدية.

وعندما تدقُّ الساعة العاشرة صباحا، يكون الوقتُ قد حان لتذكير أحد النُّزلاء بتناوُل دوائه. ولمّا كان هذا العمل يفي بواجب تقديم المساعدة، فقد صار مقدَّما على كلِّ ما سواه؛ وهذا يستتبع أن تتَّجه الإنسالة الأخلاقية إثيل نحو ذلك النزيل وتعطيَه دواءه. وفي وقت لاحق يُرى النُّزلاءُ مستغرقين في مشاهدة برنامج تلفزيوني – وليكن *The View* أو *The Price Is Right*. فإذا وَجَدت الإنسالة الأخلاقية إثيل أن ليس ثمة واجباتٌ معلَّقةٌ تنتظر منها الأداء، وأنَّ طاقةَ بطارياتها أوشكت على النفاد، استشعرت عندئذ واجبَها تجاه نفسها، فعادت إلى زاوية الغرفة تجدِّد شحنَ بطارياتها.

وواقع الأمر أن مبحثَ **أخلاق الآلة** machine ethics لم يتخطَّ بعدُ عتبةَ البدايات. وما انتهينا إليه من نتائج، وإن كانت مبدئية وتمهيدية، يملأ نفوسَنا أملا بأن المبادئَ الأخلاقية التي تكتشفها آلة، يمكن استعمالها لتوجيه سلوك جملة الإنسالات وجعل مواقفها تجاه الإنسان أكثر قبولا. ولا ريب في أن غرسَ المبادئ الأخلاقية في الإنسالات أمرٌ بالغ الأهمية؛ ذلك أن الناس إذا خالَطَهم شعورٌ بأن الإنسالات الذكيةَ ربما تتصرَّف على نحو لا ينسجم والسلوك القويم، فقد يصل بهم الأمرُ إلى نبذ الإنسالات المستقلة برمَّتها، ومن ثم قد يصبح مستقبلُ الذكاء الصُّنعي نفسه في مهبِّ الريح.

ومن الطريف أن أخلاق الآلة ربما تؤثِّر في نهاية المطاف في مبحث الأخلاق عموما، وقد تغدو الرؤيةُ «الواقعية» لأبحاث الذكاء الصنعي أقربَ إلى التقاط ما يُعَدُّ تصرُّفا سلوكيا أخلاقيا عند البشر منها إلى التنظير المجرَّد من قبل الأكاديميين الاختصاصيين في الأخلاق. ومَنْ يدري، فقد تُرَوَّضُ الآلاتُ مستقبلا ترويضا يجعلها تتفوَّق في سلوكياتها على كثير من أخلاق بني البشر، وذلك بحكم ما سوف تتمتَّع به من قدرة على صُنع قرارات محايدة، وهي مزيَّةٌ لا يجيدها الناسُ كثيرا في جميع الأوقات. بل لعلَّ التآثرَ مع إنسالة أخلاقية سيكون في يوم من الأيام باعثا لنا على تهذيب سلوكنا. ■

(1) ethical elder

مراجع للاستزادة

IEEE Intelligent Systems. Special issue on machine ethics. July/August 2006.

A Robot in Every Home. Bill Gates in *Scientific American*, Vol. 296, No. 1, pages 44-51; January 2007.

Machine Ethics: Creating an Ethical Intelligent Agent. Michael Anderson and Susan Leigh Anderson in *AI Magazine*, Vol. 28, No. 4, pages 15-26; Winter 2007.

Moral Machines: Teaching Robots Right from Wrong. Colin Allen and Wendell Wallach. Oxford University Press, 2008.

War of the Machines. P. W. Singer in *Scientific American*, Vol. 303, No. 1, pages 36-43; July 2010.

***Scientific American*, October 2010**

تتمة الصفحة 27 (الماسح المصغَّر المبهِر)

الإطارات على الطرق لتحديد مستوى أداء التصاميم الجديدة. ولكن فأرة الرنين NMR تستطيع تحليل كثافة الوصلات المتشابكة في كل طبقة من طبقات المنتَج النهائي إفراديا، ومن دون الحاجة إلى إتلاف الإطارات على الطرق. لذا، ألغت هذه الإمكانية الحاجة إلى بعض الاختبارات في حلبة السباق.

يمكن لفأرة الرنين NMR النفاذ إلى طبقات في المادة لأعماق مختلفة تصل إلى بضعة سنتيمترات. ويولِّد حقل هذا الجهاز المغنطيسي إشارة الرنين NMR في منطقة تقع على مسافة معينة من الجهاز فقط، ولذا، إذا أزاح الباحثون المادة بحيث تنتقل تلك المنطقة الحساسة عبر طبقات الإطار المختلفة، حصلوا على قيم للثابت الزمني T_2 (ومن ثَمَّ على كثافة الوصلات المتشابكة) في كل طبقة. ومن الاستعمالات المشابهة الأخرى لفأرة الرنين NMR: تحليل درجة التأكُّل البيئي الذي يلحق بالپوليمرات (ومنها المطاط والپولي إثيلين) والتركيب الكيميائي للواصق طلاءات الرسم في لوحات مشاهير الرسامين القدماء.

وأحد التطبيقات المفتاحية الأخرى يهتم بإنتاج أنماط داخلية للمواد تحت سطح جلد الإنسان مثلا أو تحت طبقات التربة، وبتلميع وتنظيف دهانات اللوحات القديمة. قبل بضع سنوات، على سبيل المثال، طبقنا تقانتنا السابرة على الرجل الجليدي أوتزي Ötzi، أي مومياء العصر الحجري الحديث المحفوظة جيدا التي وجدها متسلقو الجبال في عام 1991 عندما ذاب الجليد على الحدود بين النمسا وإيطاليا بقدر كان كافيا للكشف عن الجثة. وأنتج هذا الجهاز بنجاح مقطعا جانبيا للعمق تام الوضوح يُري طبقة من الجليد، وطبقة تخص جلد أوتزي المتجمد والنسيج الذي تحته، وطبقة تخص البنية العظمية ذات المادة الإسفنجية الكثيفة. وقد بيَّن هذا التصوير غير الإتلافي للعظام أنه ذو قيمة عظيمة لعلماء الآثار الذين يبحثون عن جزيئات **دنا** DNA سليمة مدفونة منذ حقبة ما قبل التاريخ.

إن استعمالات أجهزة الرنين NMR المحمولة بدأت بالانتشار في كل مكان بعد أن أصبحت مبادئ هذه التقنية معروفة على نطاق أوسع. وأحد الأمثلة البارزة على استعمالها هو عمل الشركة Magritek في ولينگتون بنيوزيلندا التي شارك في تأسيسها P. كالاهان [الباحث الرائد في الرنين NMR]. وإلى جانب أعمال أخرى، تستعمل الشركة ماگريتك تقانة ذات صلة بتقانتنا لتحليل كيفية تغيُّر الخواص الميكانيكية لنوى جليد القطب الجنوبي أثناء تعرُّض الجليد هناك **للاحترار العالمي** global warming.

التطورات في الرنين NMR النقال(*)

في الآونة الأخيرة حسَّن «كازانوڤا» و«پرلو» تجانس الحقل المغنطيسي الذي يولده مغنطيس الجهاز الدائم بغية تحسين دقته. ونتيجة لذلك، تستطيع فأرة NMR النووي الآن أن تكشف عن كيمياء محلول في كوب يوضع فوقها. وهذه القدرة المدهشة فتحت الباب أمام الكيميائيين لاستعمال فأرة الرنين NMR في التحليل الجزيئي. واليوم يدرس الباحثون تشكيلات مختلفة من المغانط لصنع نظم رنين NMR بحجم فنجان القهوة لإجراء الاختبارات الكيميائية.

ونظرا لأن عتاد الجهاز الحالي هو من حيث المبدأ عتاد هاتف خلوي مع مغنطيس صغير، فإن تكلفته سوف تنخفض مع ازدياد طلبه. وفي وقت ما من المستقبل، قد تُباع أجهزة الرنين NMR المحمولة في المتاجر للاستعمال الشخصي. فعلى سبيل المثال، يمكن لشخص يعاني مشكلة جلدية أن يراقب تلك المشكلة بجهاز رنين NMR منزلي، ثم يضع برنامجا للعناية بالبشرة وفقا لنتائج المراقبة. وربّما لا يكون مسجِّل مسلسل *Star Trek* بالبعيد جدا. ■

(*) Progress in Mobile NMR

المؤلف



Bernhard Blümich

أستاذ الكيمياء الجزيئية في جامعة آخن RWTH بألمانيا، وهو يدرِّس منهجية واستعمال التحليل الطيفي NMR والتصوير في علم المواد والهندسة الكيميائية. وفي عام 1981 حصل على الدكتوراه من جامعة برلين التقنية. ولمزيد من المعلومات عن إنجازات «بلوميش» الرئيسية وعن مجسِّ المواد القائم على فأرة NMR النووي النقالة يمكن الحصول عليها في موقع الوب www.nmr-mouse.de.

مراجع للاستزادة

The NMR-MOUSE, a Mobile Universal Surface Explorer. G. Eidmann, R. Savelsberg, Peter Blümler and Bernhard Blümich in *Journal of Magnetic Resonance, Series A*, Vol. 122, No. 1, pages 104–109; September 1996.

Well Logging. R. L. Kleinberg in *Encyclopedia of Nuclear Magnetic Resonance*, Vol. 8. Edited by David M. Grant and R. K. Harris. Wiley, 1996.

NMR Logging Principles and Applications. George R. Coates, Lizhi Xiao and Manfred G. Prammer. Halliburton Energy Services, 1999.

Essential NMR. Bernhard Blümich. Springer, 2005.

Mobile Single-Sided NMR. Bernhard Blümich, Federico Casanova and Juan Perlo in *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*, Vol. 52, No. 4, pages 197–269; April 14, 2008.

Virtual Institute for Portable NMR: **www.portable-nmr.eu**

Scientific American, November 2008

دكتور توحيد قوى الطبيعة الأساسية[*]

لسنوات عدة بقي الكون والذرة على غير وفاق أحدهما مع الآخر. وإذا كان بإمكان أي فيزيائي التوفيق بينهما، فلن يكون سوى ‹ستيڤن واينبرگ›.

حوار أجراه ‹D .A. آكزل›

ذات يوم خطرت فكرة جيدة على بال ‹ســتيڤن واينبرگ› فيما كان يقود ســيارته. لم يتجاوز البحث الذي كتبه ***منوال الليپتونـات***[١] الصفحتــين ونصــف الصفحة بمــا في ذلك المراجع وعبارات الشــكر. لم يحظ هــذا البحث بأي اهتمام حين نشــره عام 1967، لكنه صار من أكثــر أبحاث الفيزياء ذِكرا، وأسهم في منح ‹واينبرگ› جائزة نوبل لعام 1979 برفقة محمد عبد السلام و‹Sh. گلاشو›.

فــي هاتين الصفحتــين والنصف بَيّن ‹واينبــرگ› أنه من الممكــن أن تكون قوتان من قوى الطبيعــة الأربع وهما: القوة الكهرمغنطيسية والقوة النووية الضعيفة، المختلفة إحداهما عن الأخرى اختلافا تاما ظاهريا، مَظهَرين من مظاهر قوى موحدة **كهرضعيفــة**[٢]. هذه النظرية تنبأت بوجود جســيمات جديدة حيادية هي **البوزونات الضعيفة**[٣] تشترك في نقل فعل القوى الضعيفة. وبــيّن ‹واينبرگ› أيضا كيف يصبــح هذا التناظر الطبيعي للقــوى الكهرضعيفة خفيا، أو كما يقول الفيزيائيون **منكســرا عفويــا**[٤] بحيث تبدو القوى الكهرمغنطيسية والقوى الضعيفة متباينة. وسيرورة انكسار التناظر العفوي هي التي تمنح جسيمات **كالكواركات**[٥] كتلة.

وأســهم ‹واينبرگ› أيضا في نظرية قوة ثالثة في الطبيعة ألا وهي **القوة النووية الشــديدة**[٦]. وهذه النظريات تشــكل معا التفســير الســائد للعالم المادي، المعروف باسم **المنوال المعياري لفيزياء الجسيمات**[٧].

ومنذ ذلك الحين، اســتمر ‹واينبرگ› بسبر أغوار الطبيعة مقترحــا نظريات تذهــب أبعد من المنوال المعيــاري، يحدوه الأمــل بإحداث نظرية موحدة كليا، تشــمل **الثقالة**[٨] إضافة إلى الكهرمغنطيســية والقوى النووية. منذ البداية، اشــتغل ‹واينبرگ› في **نظرية الأوتار**[٩]، المرشــحة الرئيسية للنظرية الموحدة. كما ألّف كتبا لعموم القراء، ومؤخرا أصدر مجموعة من الدراســات بعنــوان *Lake View*. وقد طلبت ***ساينتفيك أمريـكان (SA)*** إلــى الفيزيائــي ‹D .A. آكــزل› [من جامعة بوســطن] التحدث مع ‹واينبرگ› حول مصير هذه النظريات، الآن وقد بدأ **مصادم الهادرونات الكبير** (LHC)[١٠]، مســرع الجســيمات الماموث (الهائل) فــي المركز CERN قرب جنيف بتصيّد **جسيمات هيگز**[١١] وغيرها من الجسيمات.

ساينتفيك أمريكان (SA): قبل ستة أشهر، بدأ المصادم LHC بالعمل مثيرا اهتمام الكثيرين، إلى حد أنه جعل البعض يقارن نتائجه المنتظرة بثورتي الميكانيك الكمومي[١٢] والنسبية[١٣] في الثلث الأول من القرن العشرين. فما رأيك؟

واينبـرگ: أعتقد أن الأمر مثيــر. يمكن تصور حدوث ثورة في تفكيرنا في الفيزياء شــبيهة بالثورات الكبرى التي حدثت

(*) العنوان الأصلي: "DR. UNIFICATION" دكتور توحيد

(١) Leptons
(٢) electroweak
(٣) weak bosons
(٤) spontaneously broken
(٥) quarks
(٦) the strong nuclear force
(٧) the standard model of particle physics
(٨) gravity
(٩) unified theory
(١٠) the Large Hadron Collider
(١١) Higgs particles
(١٢) the quantum
(١٣) the relativity

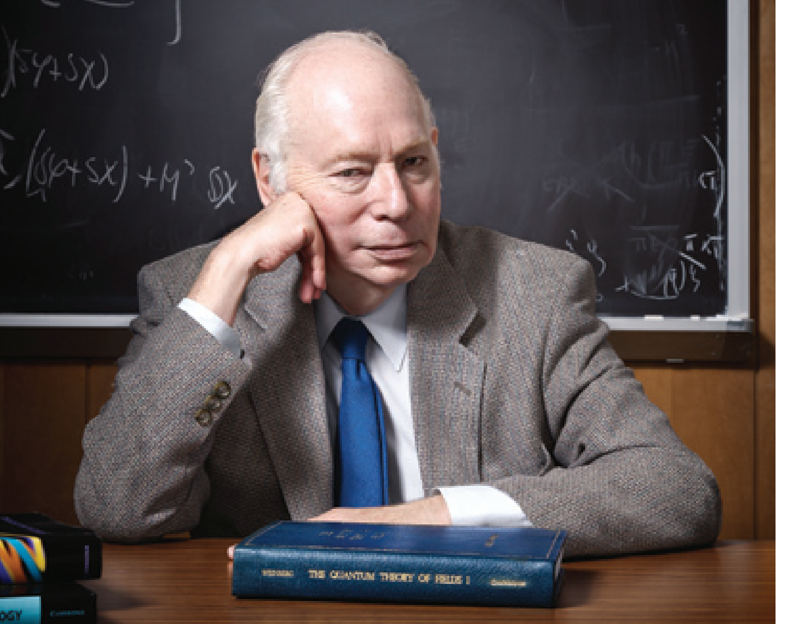
باختصار

إن الهدف الأسمى للفيزياء الحديثة هو وضع نظرية موحدة للطبيعة، ولم يسهم في هذا المضمار إسهام ‹ستيڤن واينبرگ› سوى القليلين.

في ستينات القرن العشرين ساعد ‹واينبرگ› على وضع دعامتين للمنوال المعياري: توحيد الكهرمغنطيسية والقوى النووية الضعيفة، ونظرية القوى النووية الشديدة.

منذ ذلك الحين أسهم في الجهود الرامية إلى إتمام التوحيد، في نظرية الأوتار مثلا، وذلك بضم الثقالة gravity، وهي القوة الوحيدة التي لا يشملها المنوال المعياري.

كما طبّق ‹واينبرگ› فيزياء الجسيمات على الكوسمولوجيا. ويُعَدُّ النموذج الذي وضعه لشرح الطاقة المعتمة بدليل الأكوان المتوازية parallel universes من أقوى الحجج المتداولة المؤيدة للعوالم المتعددة.



في أوائل القرن العشرين، إلا أنه ما من سبب يدعو إلى توقع ذلك. فثورة من هذا القبيل لا تحدث إلاّ عن طريق شيء لم يكن متوقعا على الإطلاق – وهكذا فإنني لا أستطيع توقعها!

إن ما نحاوله على المدى القريب هو الخطو إلى ما بعد المنوال المعياري والوصول أيضا إلى حد نستطيع معه الحديث بثقة عما وقع في بدء تشكل الكون. وذلك سيأخذ زمنا طويلا. وعلينا بعد ذلك النظر فيما يمكن فعله للتوصل إلى نظرية تأخذ في الحسبان جميع الجسيمات والقوى؛ ولكننا لا نعرف كيف ستتبدى لنا.

وأعتقد جازما أننا في حال فهمنا فهما كاملا للطبيعة على أعمق المستويات؛ فإن ذلك سينفذ إلى المجتمع ككل. وفي الغالب، هذا الفهم سيأخذ شكلا رياضياتيا عميقا، يصعب معه على الجمهور الواسع فهمه قبل مرور وقت طويل، على غرار ما حدث بالنسبة إلى فهم نظرية <نيوتن> من قبل العلميين بالذات. وفي واقع الأمر، كان للصورة التي رسمها <نيوتن> للكون أثر عميق في تفكير الناس بصورة عامة، سواء تعلّق الأمر بالكون أو بحياة الإنسان. وكان لها أثر في الاقتصاد والبيولوجيا والسياسة والدين. وأعتقد أن مفاعيل شبيهة ستحدث إذا ما وصلنا إلى نظرية للطبيعة تامة فعلا.

لقد أصبحت الصورة التي نرسمها للطبيعة شمولية أكثر فأكثر وصارت الأمور التي كانت تبدو محيرة لنا، كطبيعة القوى التي تجعل الجسيمات متماسكة داخل الذرة، مفهومة على أحسن وجه الآن – على أن نستبدل بها ألغازا أخرى كالتساؤل عما يجعل جسيمات المنوال المعياري تتمتع بالصفات التي تتمتع بها. وهكذا، فإن سيرورة تفسير الأشياء التي كانت تبدو مربكة واكتشاف أمور مربكة جديدة في ذات الوقت ستستمر إلى أمد بعيد. إنه مجرد تخمين، لكنني أعتقد أننا سنصل إلى نقطة لا وجود فيها لإرباكات من هذا النوع. وتلك ستكون نقطة تحول في منتهى الأهمية في التاريخ الفكري للجنس البشري.

SA : كثيرا ما توصف جسيمات هيگز بأنها الهدف الكبير الأول للمصادم LHC، نظرا لأن المصادم تيگاترون في فيرمي لاب لم يجدها. فما مدى اعتماد كل من التوحيد الكهرضعيف والمنوال المعياري على جسيمات هيگز؟

بإمكاني القول إن هاتين النظريتين تابعتان كليا لفكرة وجود انكسار في التناظر الكهرضعيف. إلاّ أن السؤال يبقى مفتوحا لماذا ينكسر التناظر؟ تتطلب ميكانيكية انكسار التناظر التي عرضناها (<محمد عبدالسلام> وأنا) وجود جسيم جديد عرف باسم جسيم هيگز. لقد أدت الصورة البسيطة التي رسمناها في هذا الشأن إلى التنبؤ بنسب كتل البوزونات الضعيفة، وكان هذا التنبؤ محقا تماما على أحسن وجه.

إلاّ أن هناك إمكانية أخرى، وهي انكسار التناظر بفعل قوى شديدة جديدة ولا وجود لجسيم هيگز. وفي هذه الحالة، يجب أن تكون هذه القوى الجديدة شديدة جدا، أشد من القوى الشديدة العادية. لقد اشتغلت <L. سيسكيند> وأنا بشكل مستقل على نظرية اتفقنا على تسميتها **تكنيكولر** Technicolor؛ يمكنها التنبؤ بكتل البوزونات الضعيفة، كما تفعل النظرية الكهرضعيفة الأصلية ولكنها تقع في مشكلات عديدة لتفسير كتل الكواركات. إن بعض النظريين لا يزالون يعملون في إطار هذه النظرية ويعتقدون بقدرتها على البقاء. وقد يكون ذلك صحيحا. وإذا كان الأمر كذلك، فسيجده المصادم LHC، لأن قوى التكنيكولر تقود إلى وجود تشكيلة كاملة من الجسيمات الجديدة.

وهكذا، فإن لم يجد المصادم LHC جسيم هيگز فقد يجد شيئا ما يقوم بدور مكافئ كالتكنيكولر. وفي واقع الأمر يمكننا تبيان الوقوع في تناقض رياضياتي إن لم نجد أي جسيم جديد.

SA : وفي المصادم LHC يأمل الفيزيائيون بالتثبت من مبدأ آخر هو فائقية التناظر[1]، القائل بوجود صلة عميقة بين جسيمات القوى، كالبوزونات الضعيفة، وجسيمات المادة كالإلكترونات والكواركات. وتبلغ ثقة بعض الفيزيائيين بفائقية التناظر ثقة <أينشتاين> بالنسبية: إنها مقنعة جدا، فلابد من أن تكون صحيحة. فهل هذا شعورك أيضا؟

كلا، أبدا. لقد تطابقت النسبية الخاصة على أحسن وجه مع

(١) supersymmetry

ما كان معروفا قبلها نظريا وتجريبيا، مع نظرية ‹ماكسويل› في الكهرباء والمغنطيسية، مع استحالة اكتشاف مفاعيل الأثير الذي كان يُعتقد بوجوده من قبل كائن من كان. لو كان لي حظ اكتشاف النسبية الخاصة عام 1905 لشعرت، كما شعر ‹آينشتاين›، بأنه من اللازم أن تكون النظرية صحيحة.

ليس لدي الشعور نفسه فيما يخص فائقية التناظر التي حققت بعض النجاحات الطفيفة. فهي تحسن ما يتنبأ به المنوال المعياري لوسيط مهم، وتعطي مرشحا طبيعيا لجسيمات **المادة المعتمة (المظلمة)** dark matter[1]. ولها ملمح جميل – إذ إنها التناظر الوحيد الممكن تصوره الذي يستطيع توحيد جسيمات كالبوزونات الضعيفة وجسيمات كالإلكترونات. ولكن ما من ميزة من هذه الميزات كافية لإقناعك بضرورة صحتها.

عندما نتمتع حقيقة بفهم شامل للطبيعة على أعمق المستويات، فإن ذلك سينفذ إلى المجتمع كله.

SA : لقد بحثت في** مبدأ الإنسية **Anthropic principle – فكرة عدم وجود تفسير أعمق لبعض مظاهر الكون سوى القول إننا نعيش في قطاع من منطقة شاسعة قابل للسكن على وجه الخصوص؛ وحاججتَ في أن هذا المبدأ هو أفضل تفسير لكثافة الطاقة المعتمة، هذه الكينونة الغامضة المسؤولة عن تسارع توسع الكون. فهل لك أن تحدثنا عنها؟

لقد راهنّا كثيرا على أشياء نراها أساسية؛ كتل الجسيمات على سبيل المثال، مختلف أنواع القوى، على واقع كوننا نعيش في ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زماني واحد. لعل هذا جميعه بيئيا وليس أساسيا. قد يكون امتداد الكون أكبر بكثير مما تصورنا، قد توجد انفجارات أعظمية أكثر بكثير من الانفجار الوحيد الذي نراه حولنا. يمكن أن يكون للكون أجزاء عديدة – حيث قد تُعني «أجزاء» أمورا عديدة – تتمتع بصفات مختلفة وتختلف فيها القوانين التي نسميها نحن قوانين الطبيعة، بل وقد يكون لها أبعاد مكانية وزمانية مختلفة. ولابد من وجود قانون أساسي يوصف هذا جميعه، إلا أننا قد نكون أبعد بكثير عنه أكثر مما نتخيل الآن.

عندما كتبت للمرة الأولى حول هذا الموضوع عام 1987 – ولا يزال هذا صحيحا – كنت منفتحا على مختلف الاتجاهات التي يمكن التصور فيها وجود أجزاء مختلفة للكون، ووجود صفات تختلف من جزء إلى آخر، كاختلاف كثافة الطاقة المعتمة مثلا. وأحد هذه الاتجاهات هو **التضخم الشواشي (الفوضوي)**[2] لـ‹A. ليند›، حيث تحدث انفجارات أعظمية عديدة تقع هنا وهناك من حين إلى آخر، وفي كل انفجار من هذه الانفجارات تأخذ الأشياء قيما مختلفة ككثافة الطاقة المعتمة المختلفة على سبيل المثال.

وكما وصف ‹ستيفن هوكينگ›[3] في الكتاب الذي ألّفه مع ‹L. ملودينوف›، «نظرية كل شيء (المراوغة)[4]»، يمكن أن يكون الكون في «**تراكب ميكانيكي – كمومي**»[5] لحالات عدة، على غرار **قطة شرودينگر**[6] الشهيرة. فكما يمكن للقطة أن تكون في حالتين في آن واحد، حية في إحداهما وميتة في الأخرى، يمكن كذلك للكون. في الحالة التي تكون فيها القطة حية، فإنها تعرف أنها حية، ولكنها لا تعلم شيئا في الحالة الأخرى. كذلك الأمر، توجد حالات للكون حيث يوجد باحثون يستكشفون ما يبدو لهم وكأنه الكون جميعه، وحالات أخرى قد يكون الكون فيها بالغ الصغر أو مارًا بتاريخه بسرعة كبيرة، ولا يوجد باحثون ولا من يلاحظ كيف يبدو الكون.

تتنبأ حجج بشرية بأن الطاقة المعتمة ستكون صغيرة بما يكفي لتتيح تشكل المجرات، ولكن ليست صغيرة كثيرا، لندرة الأكوان التي تكون فيها الطاقة المعتمة صغيرة جدا. فعبر حسابات أجريتها عام 1998، بالاشتراك مع ‹H.مارتل› و ‹P. شاپيرو›، تبين لنا أن أي طاقة معتمة يجب أن تكون كبيرة كفاية ليمكن اكتشافها سريعا إلى حد ما. سريعا، بعد أن تكون قد اكتشفت من قبل الفلكيين.

SA : لقد أقمتَ جسرا بين مجموعتين من الفيزيائيين: أولئك الذين يعملون في الكوسمولوجيا والنسبية العامة، وأولئك الذين يعملون في فيزياء الجسيمات والنظرية الكمومية. فهل تعتقد أن ثنائية خبرتك تساعدك على رؤية كيفية توحيد هذين المجالين؟

لا أرى حتى الآن اتجاها نحو التوحيد، لكنني دون شك أرغب في ذلك. لدي بعض الأفكار عن مسارات التوحيد الممكنة آتية من خبرتي في فيزياء **الجسيمات الأولية**[7]. إلا أنه من السابق لأوانه الحديث عما إذا كان لهذه الأفكار صلة بالعالم الواقعي.

كثيرا ما كان يُنظر إلى نظرية الأوتار وكأنها الوحيدة القادرة على معالجة المقادير اللامنتهية في **نظرية التثاقل**

---

(١) انظر: "*Dark Worlds,*" by Jonathan Feng-Mark Trodden; *Scientific American*, November 2010

(٢) choatic inflation أو التضخم الفوضوي.

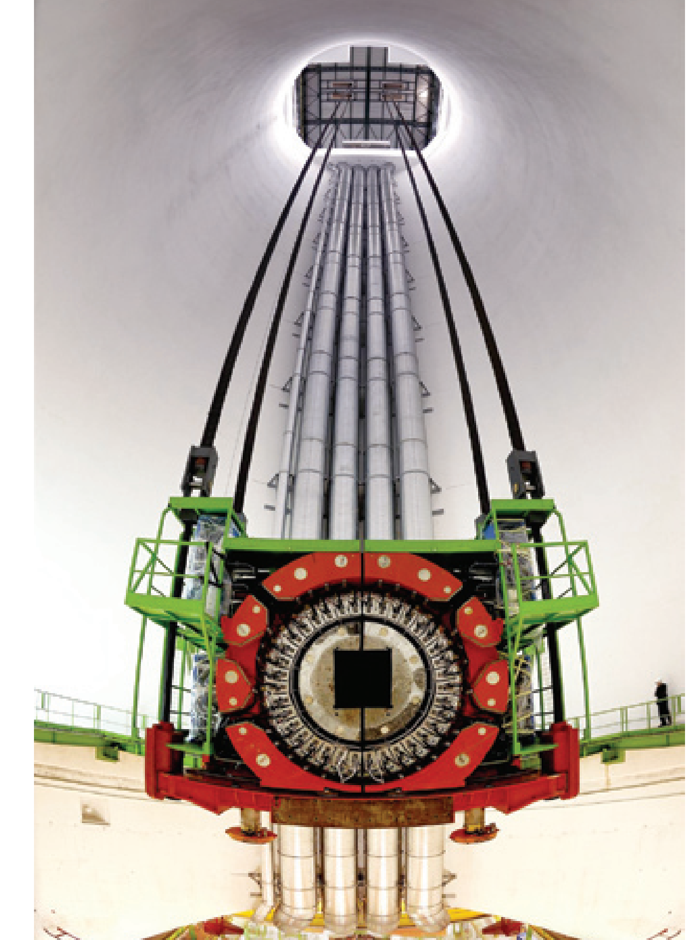
(٣) Stephen Hawking

(٤) انظر: "*The (Elusive) Theory of Everything,*" by Stephen Hawking and leonard Mlodinow; *Scientific American*,October 2010

(٥) quantum-mechanical superposition

(٦) انظر: «*بديل نظرية بوم حول تفسير ميكانيك الكم*»، **العلوم**، العددان 7/6 (1995)، صفحة 54.

(٧) elementary particles



ملف ميوني muon[1] لولبي متراص، أحد مكشافات المصادم LHC، مهمته الكشف عن جسيم هيگز الذي افترض «واينبرگ» وجوده.

الكمومية[٢]، إلا أن هنـاك إمكانية مقابلة مبنية على نظريات الحقول المكممة شـبيهة بتلك المسـتعملة في المنوال المعياري والتي أسـميها **سـلامة مقاربـة** asymptotically safe؛ حيث تصل شدة القوى إلى قيمة منتهية في الطاقات الكبيرة؛ فثمة ما يحول دون أن تصير تلك الشدة لانهائية.

لزمـن طويل لـم تتقدم هذه الفكـرة. إذ إنه من الصعب تبيان ما إذا كانت النظريات سـليمة تقاربيا أم لا. وقد قمت بإجراء بعض الحسابات التمهيدية ووجدتها مشجعة إلاّ أنها صـارت بالغة الصعوبة، ثم عملت فـي مواضيع أخرى. إلا أن عددا من الأوروبيين أخـذوا الموضوع على عاتقهم قبيل عام 2000 وتحققوا من السلامة المقاربة في تقريبات متنوعة وبينوا أن هذه التقريبات معرفة بشكل جيد رياضياتيا، كما هو الحال في المنوال المعياري.

SA : بماذا تختلف هذه المقاربة عن نظرية الأوتار؟

إنها عكـس نظرية الأوتار، إذ إنك تتخلـى في نظرية الأوتار عن نظرية الحقول المكممة التقليدية وتبتكر في الواقع شـيئا جديدا. إنها خطوة كبيرة في اتجاه جديد. بينما تدّعي السلامة المقاربة أن كل ما نحتاج إليه هو نظرية الحقول المكممة القديمة الطيبة التي تعاملنا معها لنحو ستين أو سبعين سنة.

إنني لست في صدد القول إن السلامة المقاربة هي الحل، فقـد يكون من الممكـن أن تكون الحقيقة فـي نظرية الأوتار، وهـو أمر لن يفاجئني. فهي جميلة رياضياتيا، وقد تكون هي الجواب الصحيح. إن السـلامة المقاربة هـي مجرد إمكانية تستحق أيضا أن نتحراها بشكل جدي.

لم تحقق أي من المقاربتين أي اختراق حتى الآن، كحساب الوسـطاء الرياضياتية في المنـوال المعياري، أي الأعداد التي يأخذها المنوال كمعطيات من دون تفسير حقيقي لها. ولعل ذلك سيكون الاختبار الحقيقي أن تفهم، على سبيل المثال، لِمَ تأخذ كتل الجسـيمات النسب التي تأخذها. إن النظر في هذه الكتل يشـبه إلى حد بعيد النظر في وثائق مخطوط بالغ القدم، حيث يكون النص بكامله بين أيدينا ولكننا لا نعرف ما يخبرنا به.

SA : كيف تجد الوقت للكتابة في مواضيع ليست فيزيائية؟

أحـب الفيزياء – ولو عاد الزمن لـما اخترت مهنة أخرى. إلا أنها حرفة باردة ومنعزلة وعلى وجه الخصوص لباحث نظريّ مثلي لا يعمل بالمشـاركة مع باحثين آخرين. ولا علاقة لعملي بأمور الناس، ولا مجال فيه للمصالح والانفعالات الإنسانية، ولا يمكن إلا لعدد محدود من زملائي المهنيين فهمه.

وللخروج من البرج العاجي، أودّ أن أفكر في أمور أخرى وأن أكتـب فيهـا. إنني علـى وعي تام، كما هـو حال أغلب العلميـين، أن الجمهور هو الذي يدعم أعمالنا، وأنه سـيكون من الصعب علينا إن لم نشـرح للناس ما نعمله وما نأمل بأن نحققه، أن ندافع عن استحقاقنا لهذا الدعم. ■

(١) نسـبة إلى ميون، وهو جسيم أولي غير مسـتقر، يمكن أن يكون سالبا أو موجبا بكتلته التي تساوي 207 كتلة الإلكترون.
(٢) the quantum theory of gravitation

[المؤلف]

Amir D. Aczel

‹أمير›، باحث في «مركز الفلسفة وتاريخ العلم» بجامعة بوسطن، وهو زميل Guggenheim ومؤلف لسبعة عشر كتابا. آخرها بعنوان: Present at the Creation وقد صدر في الشهر 2010/11، وهذا الكتاب يحكي قصة المركز CERN والمصادم LHC.

مراجع للاستزادة

Dreams of a Final Theory. Steven Weinberg. Vintage, 1994.

The Asymptotic Safety Scenario in Quantum Gravity. Max Niedermaier and Martin Reuter in *Living Reviews in Relativity*, Vol. 9, No. 5; 2006. **www.livingreviews.org/lrr-2006-5**

Lake Views: This World and the Universe. Steven Weinberg. Belknap Press, 2010.

Present at the Creation: The Story of CERN and the Large Hadron Collider. Amir D. Aczel. Crown, 2010.

***Scientific American*, November 2010**

الحفارون قادمون(*)

يشتد الخلاف بين شركات الغاز الطبيعي والسلطات البيئية المعنية حول تقنية مثيرة للجدل، تستخدمها هذه الشركات في استخراج الغاز، قد تلوث المصادر المائية.

<M. فيتشيتي>

إن الكتلة الضخمة من **ترسبات الصخر الزيتي** shale deposits وتدعى «**التشكيل المارسيلوسي**»[1] Marcellus Formation والممتدة من تنّيسي إلى نيويورك، تحتوي على كمية كبيرة من الغاز الطبيعي قد تكفي لتزويد الولايات المتحدة بحاجتها منه، حسب الاستهلاك الحالي، لأكثر من 40 عاما وذلك استنادا إلى تقديرات حديثة. وقد أمكن استغلال هذه الترسبات بسهولة بحفر آلاف الآبار العمودية في باطن الأرض. إلا أن تقانة أحدث وطرائق محسَّنة جعلت عمليات الحفر الأفقي ذات جدوى اقتصادية إذ أدت إلى زيادة كميات الغاز التي يمكن استخلاصها.

وتزداد الضغوط السياسية بهدف الاستغناء عن مصادر الطاقة الأجنبية من جهة، واستخدام مصادر أنظف بيئيا من جهة أخرى، مثل الغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء، الذي يخفِّض استخدامه انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 40 في المئة مقارنة بالانبعاثات الناتجة من حرق الفحم. وقد شجَّع ذلك على استخلاص أكبر قدر ممكن من الغاز المارسيلوسي. وازدادت الحفريات بسرعة وبخاصة في پنسلڤانيا ذات المخزون الهائل. ففي عام 2005 حُفِرت بئران مارسيلوسيتان فقط، وارتفع عدد الآبار إلى 210 عام 2008 ثم إلى 768 عام 2009 وفق إحصائيات وزارة حماية البيئة في پنسلڤانيا (DEP)[2]. وتزداد تراخيص حفر الآبار الأفقية بسرعة ملحوظة. ففي عام 2009، زادت بنسبة 75 في المئة وفي عام 2010 زادت بنسبة 87 في المئة. وقد قارب عدد تراخيص الحفر التي تمت الموافقة عليها من عام 2005 إلى عام 2009 ثلاثة آلاف ترخيص. وقال <J. هانگر> [وزير حماية البيئة]: «إننا نتوقع في عام 2010 أن يبلغ عدد طلبات الحفر 5000». ومن اللافت أن الحفر الأفقي بدأ ينتشر بسرعة في أوروبا أيضا.

لقد ازداد قلق العلماء والسياسيين والمدافعين عن المصلحة العامة، باطراد مع ازدياد عدد آبار الحفر الأفقي الذي يتم وفق الطريقة التي تدعى **التفتيت المائي** Hydraulic Fracturing أو Fracking؛ لأنهم يعتقدون أن تلك الطريقة تلوث البيئة وتسيء إلى صحة الإنسان؛ إذ يتم في هذه العملية دفع حجم هائل جدا من الماء النقي والكيميائيات إلى قيعان الآبار لتكسير الصخر وتحرير الغاز، الأمر الذي ينتج منه كميات كبيرة من الماء الملوّث الراجع مع الغاز الصاعد.

مفاهيم مفتاحية

- الصخر الزيتي Shale المارسيلوسي مصدر غني بالغاز الطبيعي يكفي لسد حاجة البلاد منه أربعين عاما.
- يرى النقّاد أن عملية تفتيت الصخر الهيدروليكي (المائي) لاستخراج الغاز قد تلوِّث مصادر مياه الشرب، ويطالبون السلطات بفرض رقابة شديدة.
- سيفيد الكشف الكامل عن الكيميائيات التي تُحقن في جوف الأرض لإجراء عملية التفتيت في خفض التوتر بين المؤيدين والمعارضين.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE DRILLERS ARE COMING

(1) طبقة صخرية محدودة المعالم تقع في شرق أمريكا الشمالية، وتشير كلمة Marcellus إلى اسم مدينة في ولاية نيويورك.

(2) the Pennsylvania Department of Environmental Protection

فسُـكَّان الولايــات التي أجريــت فيها عمليات الحفر منذ ســنوات يشكون من أن إنتاج الغاز بهذه الطريقة يلوِّث الهواء ومياه الشــرب. وإن التحقيقات التــي قامت بها وكالات فدراليــة أو تابعة للولاية في ولايات تكساس وكولورادو ووايومنگ أظهرت زيادة قلق الســكّان حول هــذا التلوث. وظهر من دراســة نوعية الهواء التــي قامت بها لجنة ولاية تكساس المسؤولة عن نظافة البيئة في الشــهر 2009/8 بمدينة ديش Dish أن نسبة البنزين والزايلين وسموم أخرى قد تجاوزت الحدود المسموح بها. ومن الجدير بالذكر أن الحــوادث الفردية لا تعد دليلا علميا قاطعا على أن إنتاج الغاز أمر ذو خطر شديد على الدوام. ومن جهة ثانية، فإن كارثة تســرب النفط التي حدثت في الآونة الأخيرة بخليج المكســيك توجب الحيطة والحذر. والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هل يشكل هذا الطراز من الحفر حقا تهديــدا كبيرا؟ الجواب عن هذا السؤال لم يتضح بعد.

إجراءات أمان صارمة(*)

ففي بدايات هذا العام، تصدَّرت الخلافات حــول الســلامة والأمــان بــين مجموعــات المواطنــين والصناعة، الأنبــاء الوطنية بصدد هذا الموضوع. ويعود الســبب في ذلك إلى أن التشكيل المارسيلوسي يقع في أسفل أحواض **مائيــة جوفية** watersheds تزود بالماء ما يزيد على تســعة ملايين نســمة في مدينة نيويورك وضواحيها، إضافة إلى 200 000 نســمة في شــمال الولاية في ســيراكوز. ولهذا، أعلنت وزارة حمايــة البيئة في الشــهر 2010/4 أنها ستطلب إلى الشركات المتقدمة بطلب الموافقة علــى الحفر، إجراء دراســات بيئيــة معمقة ونوعية تتعلق بالموقع وهي إجراءات تستغرق وقتا طويلا، ناهيك عن تكاليفها الباهظة، الأمر الذي ســيدفع الشــركات إلــى الإحجام عن العمل. وعن ذلك يعبِّــر <M. D. وايتلي> [نائب رئيس إحدى أكبر شــركات الحفــر بالمنطقة المارسيلوســية بمدينة فورت وورث بتكساس وهي شركة Range Resources] حين قال: «لن نذهب إلى نيويورك بسبب هذه الإجراءات.»

وقبل شــهر من إعلان نيويورك كانت الوكالــة الأمريكية لحماية البيئة قد خططت لإجراء دراســة تمتــد إلى عامــين تتناول إجــراءات الحفر الأفقي، بــدءا من اختيار الموقع وانتهاء بالتخلص من نفايات التكسير

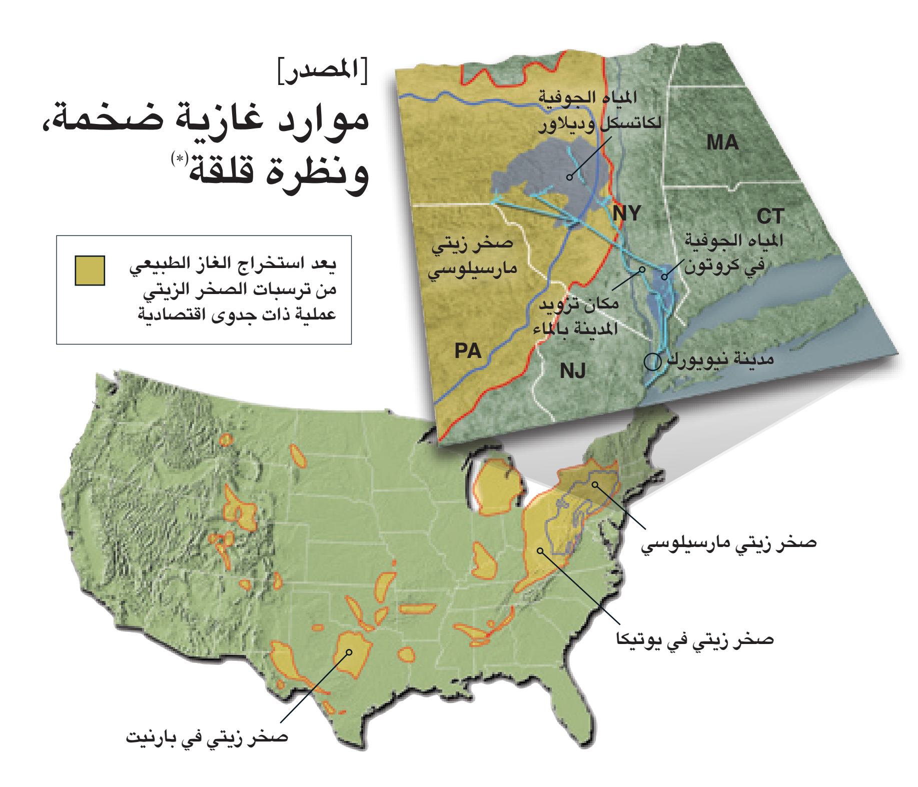
(*) HEIGHTENED SCRUTINY



تحفر الحفّارات ثقبا عميقا في الأرض حتى يصل إلى طبقة الصخر المارسيلوسي في باطن الأرض تحت مدينة ديموك بولاية پنسلڤانيا ثم يُجمع سائل الحفر والفتات في بحيرة تجميع.

[المصدر]

موارد غازية ضخمة، ونظرة قلقة(*)



تشكيلات جوفية من الصخر الزيتي (*اللون الذهبي*) يمكنها تزويد الولايات المتحدة بالغاز الطبيعي لسنوات. ولكن المخاوف تحيط بعمليات الحفر في هذه الترسبات لأنها قد تلوث مصادر الماء العذب؛ الأمر الذي دفع مدينة نيويورك إلى محاربة استخراج الغاز من المناطق المارسيلوسية التي تقع أسفل مصادر مياه الشرب.

السائلة. وجوابا عن أسئلة طرحتها مجلة *ساينتفيك أمريكان* بالبريد الإلكتروني ذكرت الوكالة أن شهادات المواطنين القاطنين بالمنطقة تدل جميعها على التأثير السلبي المحتمل للحفر في ماء الشرب ولكن «لا توجد براهين علمية تؤيد هذه المخاوف أو تنفيها.» وتضيف الوكالة قائلة: «إن الدراسة المذكورة تهدف إلى قطع الشك باليقين على أسس علمية.»

ويذهب بعض المُشرِّعين إلى ضرورة إبطاء إبرام عقود إيجار الأراضي وعمليات الحفر، إلى أن تكتمل هذه الدراسة. ولكن <K .Z. كليبر> [وهي رئيسة مجموعة صناعية في پنسلڤانيا تُدعى «ائتلاف الصخر الزيتي المارسيلوسي»] تقول: «إن الحفّارين لن يتمهلوا في عملهم إلا في ولاية نيويورك.» ويضيف <وايتلي> من تكساس قائلا: «إنني لا أرى أن لدراسة **وكالة حماية البيئة** EPA أي تأثير في خطط التوسع.»

في قاع البئر(**)

وبشكل أساسي، يعود قلق المعنيين إلى الكيميائيات المستخدمة في عمليات التفتيت المائي للصخور. فبعد إخلاء مساحة أربعة إلى خمسة فدادين، تحفر بئر حتى طبقة الصخر الزيتي التي يتراوح عمقها عادةً بين 3000 و 8000 قدم تحت سطح الأرض. وعادةً لا يتجاوز سمك هذه الطبقة بضع مئات من الأقدام. وبعد الوصول إلى هذه الطبقة تدور آلة الحفر نحو 90 درجة، وتستمر بالحفر أفقيا عبر طبقة الصخر الزيتي لمسافة تمتد نحو ميل واحد. عندئذ يغرز أنبوب فولاذي على طول التجويف المحفور، ويغلف الأنبوب بطبقة إسمنتية.

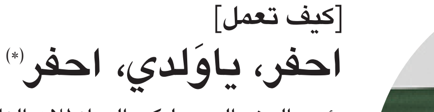
إن طبقة الصخر الزيتي تفتَّت على مراحل يبلغ طول كل مرحلة منها نحو 1000 قدم، وتكون بداية التفتيت عند نهاية الأنبوب. وفي كل مرحلة يتم دفع مليون گالون أو أكثر من السائل بواسطة مضخات ضخمة، عبر ثقوب في الأنبوب الفولاذي بقوة دفع تصل إلى 6000 رطل لكل بوصة مربعة ما يؤدي إلى تفتيت الصخر. ويدفع الضغط المتجه من الأسفل إلى الأعلى خليط التفتيت إلى أعلى الأنبوب، ويلتقط هذا **السائل الراجع** flowback fluid مركبات أخرى من الصخر الزيتي بما في ذلك أملاح و**معادن** metals ثقيلة ومواد مشعة طبيعية. فهذا السائل يُخزّن في بركة تجميع أو خزانات، وبعدها يصعد الغاز عبر الأنبوب.

يتكوّن المائع الهابط من 99.5 في المئة من ماء نقي ورمل إضافة إلى 0.5 في المئة مواد كيميائية. ويعمل الرمل الداعم على فتح الشقوق الناتجة من تكسير الصخور الزيتية ليخرج منها الغاز. وتستخدم كل شركة حفر خليطا خاصا بها يتكوَّن من 10 أو 12 مادة كيميائية تضاف إلى الماء من ضمنها مواد خافضة للاحتكاك تُسهِّل انسياب الخليط ومواد مانعة لتشكل

(*) VAST SUPPLY WORRIED EYE

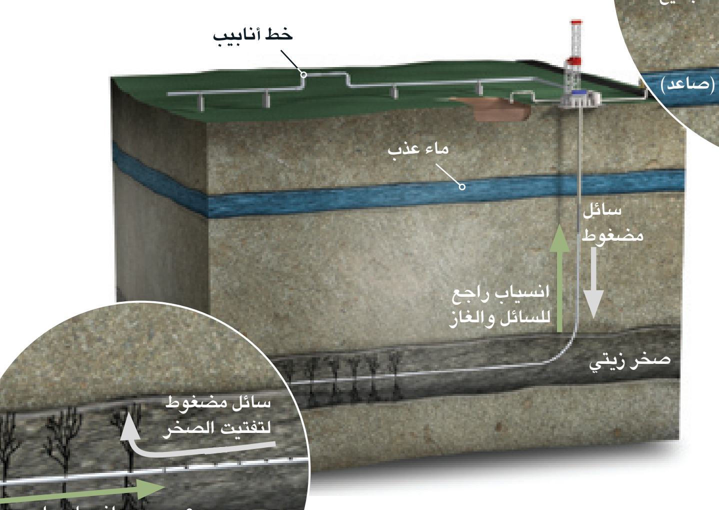
(**) DOWN THE HOLE

[كيف تعمل]



احفر، ياوَلدي، احفر(*)

يؤدي الحفر الهيدروليكي إلى انطلاق الغاز الطبيعي من الصخر الزيتي. يُحفر ثقب يصل إلى الصخر الزيتي ويخترقه؛ ويغرز أنبوب فولاذي في الثقب ويحقن ملاط إسمنتي لتغليف الأنبوب بطبقة رقيقة منه للحماية. تبعد آلة الحفر بعد ذلك، ويفتّت الصخر على مراحل عدة (*توضح الصورة في الأسفل إلى اليسار إحدى المراحل*).



بعد إيقاف الحفارة وإبعادها، يضخ سائل التفتيت إلى أسفل الأنبوب، وعند عودته يُخزن في حفرة تجميع أو في خزانات. ينطلق الغاز، بعد ذلك، من رأس البئر إلى أنبوب نقل الغاز إلى مُستخدميه.

في كل مرحلة يتم فتح ثقوب الأنبوب المغلّف بالإسمنت بواسطة مسدس تثقيب ويُضخّ بعد ذلك خليط من الماء والرمل والكيميائيات عبر الفتحات تحت ضغط عال جدا ما يؤدي إلى تفتت الصخر. وبعد ذلك، يرتفع السائل راجعا نحو الأعلى ويتبعه الغاز إلى رأس البئر.

القشرة على الأنبوب ومنع الصدأ وحمض لتنظيف الثقوب، و**مضادات بكتيرية** bactericides لقتل **المتعضيات الميكروية** microorganisms التي قد تبطل مفعول بعض المواد الكيميائية، وغير ذلك. وتستخدم شركة هاليبورتن Halliburton، وهي إحدى أكبر شركات التفتيت في الولايات المتحدة، اثني عشر محلولا لهذا الغرض. ويحوي أحدها حمض كلور الماء والإيثيلين گلايكول وقاتل البكتيريا المعروف باسم گلوتارألدهيد. أما قائمة كيميائيات شركة «خدمات BJ(1)» فتتضمن الميثانول وخليطا من نواتج تقطير البترول. ومع أن نسبة 0.5 في المئة تبدو صغيرة، إلا أنها تكوّن 5000 گالون من المواد الكيميائية في كل مليون گالون من السائل المستخدم للتفتيت.

وبمرور الزمن، يمكن القيام بخمس عمليات تفتيت عبر شريحة طولها ميل واحد، كما يمكن القيام بنحو 12 ثقبا أفقيا من بئر واحدة خلال سنوات عدة، ويستهلك حفر هذه الثقوب العشرة التي يتم كل منها على خمس مراحل نحو 50 مليون گالون من الماء النقي الحاوي على 000 250 گالون من المواد الكيميائية.

أما الجيولوجيون فيعتقدون أن احتمال تسرب المواد الكيميائية إلى المياه الجوفية ضئيل جدا لأن هذه المياه توجد، غالبا، على عمق مئات عدة من الأقدام تحت سطح الأرض، في حين يكمن الصخر الزيتي تحت طبقة صخرية كتيمة. ولكن السائل الراجع يمكن أن يتسرب إلى باطن الأرض عند رأس البئر. ويقول <هانگر> من پنسلڤانيا إن «الضغوط العالية قد تسبب خللا على السطح.» ومع أن الأنبوب مغلّف بالإسمنت للحيلولة دون هذه التسربات «إلا أن الفراغ بين الأنبوب والفتحة الأوسع منه ليس منتظما» حسب رأي <R .A. إنگرافيا> [أستاذ الهندسة في جامعة كورنل الحاصل على الدكتوراه في مجال تفتيت الصخور] الذي كانت أبحاثه تدعمها أحيانا شركات استخراج الغاز. والثقب المحفور قد يتقاطع مع كثير من الثغرات والشقوق والتصدعات،

(*) FRACK, BABY, FRACK
(1) BJ services

«وفي بعض الأحيان لا يستطيع الإسمنت ملء هذه المعالم».

أضف إلى ذلك أن مدة صلاحية الإسمنت المغلِّف للبئر غير معروفة، كما يمكن لعمليات الحفر أن تخترق جيوبا للميثان، ما يسمح للغاز بأن يصعد عبر فتحة البئر ومنها إلى المياه الجوفية. ويمكن أن تبرز مشكلة أخرى تتمثل بالتسرب من بحيرات التجميع إن كانت سيئة البناء أو الكسوة. إذ يلاحظ أن 40 في المئة من المياه والكيميائيات التي تدفع عبر الفتحة إلى الأسفل تعود ضمن المحلول الملحي الراجع. ويقول ‹J. S. روبرتس› [معاون الوزير لإدارة المصادر المعدنية في وزارة حماية البيئة]: «إن الشركات تحاول أن تقوم بعملها كما يجب، ولكننا نصادف أحيانا من ينسى ترتيب الأولويات، أو قد تتعرض الشركة لضائقة مالية فتقوم بحماقات.»

الشفافية الكيميائية(*)

يعود توخي الحذر، ولو جزئيا، من الكيميائيات التي تستخدم ومكان استخدامها، إلى وجود ثغرة في قانون سلامة مياه الشرب. إذ تُستثنى عملية التفتيت من الخضوع لشروط «الرقابة على الحقن في باطن الأرض» الخاصة بقانون سلامة مياه الشرب الذي يحمي مياه الشرب الجوفية من التلوث. وورد الاستثناء في **مرسوم سياسة الطاقة**[1] الصادر في عام 2005 والذي يهدف إلى إتاحة الفرصة لشركة هاليبورتن للتهرب من القوانين لأن ‹D. تشيني› [رئيسها التنفيذي CEO السابق] كان نائبا لرئيس الجمهورية آنذاك. وفي عام 2009 قدَّم ممثل ولاية نيويورك ‹M. هنشي› مشروعا **لقانون التفتيت**[2] يُلغي ذلك الاستثناء. وبقي مشروع القانون حتى الشهر 2010/5 في ملف اللجنة، دون تحديد موعد لاتخاذ قرار حاسم. وتقول ‹كليبر› المدافعة عن أعمال الحفر إن هذا التشريع لا معنى له «لأنه يقدِّم حلا لمشكلة غير موجودة.»

تشترط إدارة السلامة والصحة المهنية من الشركات أن تُدوِّن في قائمة، تدعى «صحيفة بيانات سلامة المواد»، أسماء الكيميائيات التي تستعملها الشركة في موقع العمل، وأن تكون هذه القائمة تحت الطلب حتى يمكن، عند وقوع حادثة ما، تقدير أبعاد الأذيات المحتملة. ولكن ‹J. فوكس› [مخرج الفيلم الوثائقي ***أرض الغاز*** *Gasland* في عام 2010 والذي بيّن فيه المشكلات الصحية المحتملة والتي يعانيها السكان عبر الولايات المتحدة] يقول إن شركات الغاز رفضت إعطاء أي بيانات عن الكيميائيات التي تستخدمها سواء له أو لأصحاب البيوت المجاورة في مواقع معينة.»

وتقول ‹كليبر› إن المسؤولين المحليين يمكنهم الحصول على قوائم المواد الكيميائية المستعملة، وبإمكانهم نشر المعلومات الواردة فيها للعامة. لكن هذه القوائم لا تبيّن تراكيز الكيميائيات المستخدمة، الأمر الذي تعده وكالة حماية البيئة «ضروريا لتحديد مستوى السمّية». ويقول ‹روبرتس› [من وزارة حماية البيئة]: «إن تلك القوائم لا توضح الوصفة» أو الكيفية التي تم بها خلط الكيميائيات أو طريقة استخدامها «لأن هذا يعد من حقوق الملكية الفكرية»، حسب رأي شركات الحفر. والسؤال المطروح أيضا في هذا المجال هو عما إذا كان خلط هذه الكيميائيات أو تفاعل بعضها مع بعض المركبات في الصخر الزيتي يؤدي إلى تكوّن مركبات أخرى قد تكون مؤذية.

وقد تكون الكيميائيات المستعملة سامّة بحد ذاتها من دون خلط. وقد أرسلت مجموعة حقوقيين تطلق على نفسها اسم **المُخبِر النهري** the River Reporter ومركزها مدينة «نارّوزبُرگ» في ولاية نيويورك، قائمة بأربع وخمسين مادة كيميائية وردت في قوائم البيانات إلى **مؤسسة تبادل**

(*) CHEMICAL TRANSPARENCY
(1) Energy Policy Act
(2) the FRAC Act

المعلومات حول تلف الغدد[1] لتحليلها. وقامت المؤسسة بإشراف <T. كولبورن> [المستشار العلمي في وكالة حماية البيئة سابقا] بالتوصل إلى أن هذه الكيميائيات تقع ضمن 14 فئة من المواد التي قد تؤثر في صحة الإنسان، بما في ذلك أذيات الرئتين والكبد والكلى والدم والدماغ.

تلوث المياه الجوفية(*)

يشير القادة الصناعيون، ومنهم <وايتلي> [في شركة Range Resources] إلى عدم تسجيل أي حادثة تلوث للمياه الجوفية بسبب عمليات التفتيت. ويتفق بعض المُشرِّعين والمراقبين مع هذا الرأي. ومن جهة أخرى، فإن النقّاد يشيرون إلى أن هذا الرأي لا يأخذ بالحسبان إلا المحاليل الراجعة صعودا فقط إلى مستوى المياه الجوفية. ويضيفون أننا إذا أخذنا في الحسبان مجمل عملية التفتيت، بما في ذلك برك تجميع المياه، نجد أن هناك المئات من حالات التلوث الموثّقة. ففي مدينة ديموك بولاية پنسلڤانيا، على سبيل المثال، قاضت دائرةُ حماية البيئة شركة Cabot Oil & Gas العاملة في هيوستون بتهمة صَرْف السائل والديزل المستَخدَمَيْن في عمليات التفتيت دون ضوابط.

ومهما يكن من أمر، فمعظم المخالفات التي سجلها المراقبون لا تتضمن كيميائيات التفتيت. ويقول <T. إنگلدر> [أستاذ العلوم الجيولوجية في جامعة ولاية پنسلڤانيا والذي تَدعَم أبحاثه، جزئيا، الصناعة الغازية] إن كلا من الصناعة ومنتقديها «يلجؤون إلى الغموض بعض الشيء» في مقولاتهم «ونيويورك، بخاصة، مخادعة بموقفها، فسكّانها سعداء باستخدام الغاز الطبيعي للتدفئة مع أن استحصاله يتم بالقرب من مصادر المياه في پيتسبورگ». ويؤيده في ذلك <هانگر> قائلا: «كلاهما يحاولان كسب القضية، أما الحقيقة فتبقى غير معروفة.»

ففي عام 2012 ستنجز الدراسة التي تقوم بها وكالة حماية البيئة، وبهذا ستتوضح الحقائق العلمية حول القضية. كما ستعلن هذه الوكالة في الشهر 7 نتائج الاستقصاء حول تلوث آبار الشرب في مدينة «پاڤليون» بولاية وايومنگ.

التوجه نحو الاستمرار بالحفر(**)

وعلى الرغم من تقارير وكالة حماية البيئة جميعها، يبدو أن عمليات التفتيت تتجه إلى المزيد من الانتشار. فشركة Statoil Natural Gas، على سبيل المثال، وقّعت اتفاقا تلتزم فيه بتوفير 113 بليون قدم مكعب من الغاز المارسيلوسي سنويا لمدة عشرين عاما من حقل «إلّيسبورگ» في ولاية پنسلڤانيا إلى تورنتو بكندا. والأغرب من ذلك، أن شركة Statoil نفسها وافقت على ضخ الغاز إلى مدينة نيويورك.

يبدو أن التوتر حول موضوع التفتيت سيستمر. ففي المنتدى الذي عقد بتاريخ 5/3 بجامعة Duquesne، دعا <هانگر> إلى فرض ضريبة خاصة على المنتجين لتغطية تكلفة طمر الآبار التي قد تلغى ولمعالجة الأضرار الأخرى، علما بأن المنتجين يدفعون ضرائب خاصة في 28 ولاية. أما <كليبر> فقد حذّرت من مغبة وضع عراقيل كثيرة في وجه الصناعة لأنها ستثبط همة المنتجين لإجراء المزيد من الحفر في پنسلڤانيا علما بأن حفر الآبار في المنطقة أوجد 107 000 فرصة عمل في العام الماضي. وتضيف قائلة الصناعة لا ترغب في «تضييع فرصة البلاد في جني الفوائد المتحققة من الغاز الطبيعي الوطني». فالبلاد تحتاج حتما إلى الطاقة، كما تحتاج إلى مياه الشرب أيضا. ويبقى السؤال مطروحا عما إذا كان بالإمكان الحصول على الغاز والماء النظيف كليهما. ■

(*) GROUNDWATER CONTAMINATION
(**) GOING FULL BORE
(1) the Endocrine Disruption Exchange

مراجع للاستزادة

Riverkeeper's watchdog Industrial Gas Drilling Reporters, covering action in New York State and Pennsylvania, can be downloaded at **www.riverkeeper.org/campaigns/safeguard/gas-drilling**

Information from the Marcellus Shale Coalition is available at **www.pamarcellus.com**

A video of Anthony R. Ingraffea explaining fracking can be seen at **www.mefeedia.com/watch/28577813**

To track the documentary *Gasland*, go to **www.gaslandthemovie.com**

***Scientific American*, July 2010**

حبات إنسالية (روبوتية)[*]

لم يعد الارتحال في جسم الإنسان مجرد خيال. فلن يمضي وقت طويل حتى نرى أجهزة منمنمة تجري جراحة، وتقدم أدوية وتساعد على تشخيص الأمراض.

<P. داريو> – <A. منشياسّي>

مفاهيم مفتاحية

- **مكّنتنا الكاميرات الحَبِّية[٣] وبصورة غير مسبوقة من أن نرى مشاهد داخلية لكامل السبيل الهضمي، إلا أن استخدامات ودقة الكبسولات اللافاعلة منها محدودة.**
- **حاليا يتم تطوير إنسالات فاعلة بحجم الكبسولة من أجل استخدامها في تحري الأمراض وتشخيصها وفي الإجراءات العلاجية.**
- **تواجه نَمْنَمَة مكوِّنات الإنسالات بغية أداء مهام داخل الجسم، تحديات هندسية جديدة؛ وقد أدت هذه التحديات إلى حلول إبداعية سوف تؤثر في الإنسالية[٢] وفي غيرها من التقانات الطبية بصورة عامة.**

محررو ساينتفيك أمريكان

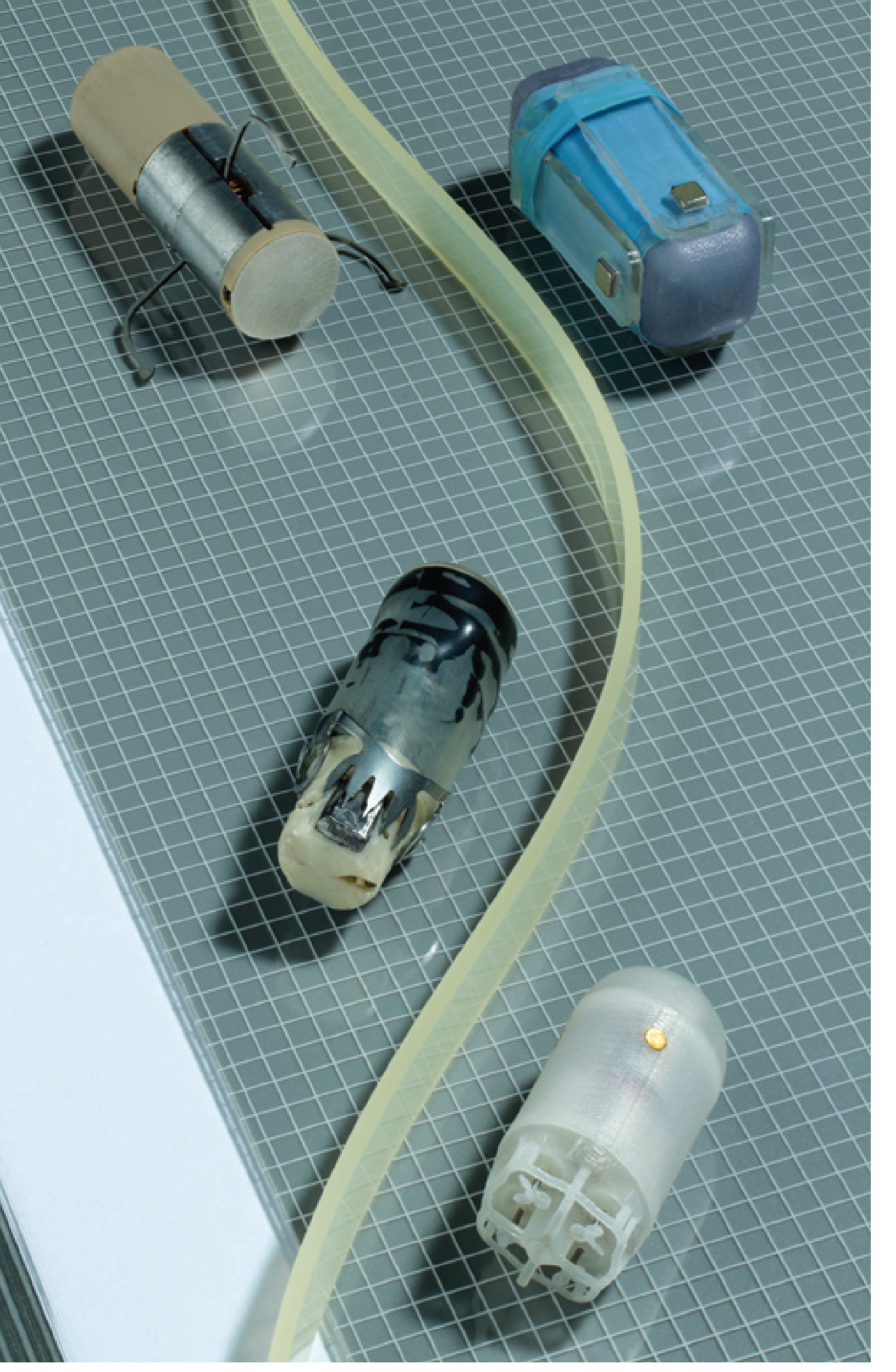
في فيلم «***الرحلة الخيالية***» *Fantastic Voyage*، كانت قصة فريق من الأطباء الذين تمت **نَمْنَمَتهم**[١] يسافرون خلال الأوعية الدموية لعمل إصلاحات منقذة للحياة داخل دماغ أحد المرضى، محض **خيال علمي** science fiction عندما عُرضت في عام 1966. ولكن عندما أعادت هوليود إنتاج الفيلم عام 1987 باعتباره فيلما كوميديا، وأطلقت عليه اسم ***الفضاء الجوّاني*** *Innerspace* كان فريق من المهندسين في العالم الحقيقي قد بدؤوا ببناء **إنسالات**[٢] **(روبوتات)** بحجم حبة الدواء لتكون بمثابة **نماذج أولية** prototypes يمكنها الارتحال في السبيل الهضمي (المعدي المعوي) للمرضى نيابة عن الطبيب. وفي عام 2000 بدأ المرضى بابتلاع **الكاميرات الحَبِّية**[٣] الأولى المُصَنَّعة على نطاق تجاري، ومنذ ذلك الحين استخدم الأطباء تلك الكبسولات لرؤية بعض الأماكن لم يسبق لهم رؤيتها، مثل الثنيات الداخلية للأمعاء الدقيقة التي يصعب الوصول إليها من دون إجراء جراحة.

وأحد الجوانب المهمة لفيلم الرحلة الخيالية، وهو جانب لايزال محض خيال، هو فكرة أن تكون تلك الكاميرات المُنَمْنَمَة بحجم حبات الأدوية، قادرة على المناورة باستخدام طاقتها الذاتية، فتسبح باتجاه الورم للحصول على خزعة منه، أو تفحص التهابا في الأمعاء الدقيقة، أو تعطي المعالجات الدوائية للقرحة. ومع ذلك، ففي السنوات الأخيرة قطع الباحثون شوطا طويلا نحو تحويل **الكاميرات الحبِّية اللافاعلة**[٤] إلى إنسالات مُنَمْنَمة فاعلة. فالنماذج الأولية المتطورة (والتي تُختبر حاليا على الحيوانات) لها أرجل وأجزاء تدفع بها للأمام، وعدسات تصوير معقدة وأنظمة للتوجيه اللاسلكي. وربما تكون تلك الإنسالات المنمنمة جاهزة للتجارب السريرية قريبا. أما الآن، فإن العلماء يقومون باختبار حدود **علم الإنسالات المنمنمة**[٥].

تحويل الحبات اللافاعلة[**]

إن السبيل الهضمي هو الجبهة الأولى. و**الكاميرة الحبية اللاسلكية الأولى** M2A التي ظهرت عام 1999 والنماذج التالية لها قد رسّخت جدوى فحص السبيل المعدي المعوي بجهاز لاسلكي. فالممارسة المعروفة باسم **التنظير الكبسولي**[٦] capsule endoscopy، تستخدم الآن بصورة روتينية في الطب. ولسوء الحظ، فإن عدم قدرة الإنسان على التحكم في الكاميرة الحبية اللافاعلة يؤدي إلى معدلات عالية من النتائج السلبية الكاذبة، فالكاميرات تخفق في تصوير المناطق التي تعاني المشكلة، وهو أمر غير مقبول في أداة تشخيصية، فإذا كان الهدف من تفحُّص داخل الجسم هو

(*) ROBOT PILLS
(**) Transforming Passive Pills
(١) miniaturized
(٢) robot: روبوت = إنسالة، وهذه نحت من إنسان – آلي، ومنها نشتق إنسالية = روبوتية robotics = علم الإنسالات.
(٣) pill-size camera = pill camera: كاميرة حَبِّية = كاميرة بحجم حبة دواء.
(٤) passive - camera pill: كاميرة حبِّية لا فاعلة.
(٥) أو الإنسالية المنمنمة.
(٦) كبسولي = على شكل كبسولة.



التحــري عن مرض، أو الحصــول على صورة مفصلة لمشكلة يُشتبه فيها، فإن أكثر ما يهتم به الطبيب هو أن يكون قادرا على إيقاف الكاميرة وأن يجري فيها بعض المناورات لتفحّص المنطقة التي تستحوذ على اهتمامه.

ويتطلب تحويل كبســولة لافاعلة إلى جهاز يُعتمد عليه أكثر لتحري السبيل المعدي، المعوي إضافــة زوائد متحركــة، أو **أدوات تنشيط** actuators، تدفع الحبة خلال الجسم، أو تعمل كأدوات تتعامل مع النســج. ويتطلب تشــغيل تلك الأجــزاء المتحركة نقل البيانات بالاتجاهين (ذهابا وإيابا) نقلا لاسلكيا للصور والتعليمات بســرعة عاليــة. وبذلــك تتحول الحبــات إلى إنســالات ضئيلة الحجم يمكنها أن تســتجيب بسرعة لأوامر الفنّي الذي يعمل عليها. وجميع تلك المكونات تتطلب طاقة كافية لإكمال مهامها خلال الارتحال قد تســتغرق 12 ســاعة، كما أن جميــع المكونــات ينبغي أن تنــدرج داخل حاوية حجمها 2 سنتيمتر مكعب – وهو يعادل حجــم قطعة مــن الحلوى المطاطية على **شكل دب** Gummi Bear – بحيث يســتطيع المريض ابتلاعها من دون انزعاج.

وفي الســنة نفسها التي ظهرت فيها الكاميرة الحَبيــة M2A أنشــأ **مركز النظم الميكروية الذكية** (IMC)[1] فــي ســيول بكوريا مشــروع الســنوات العشــر لتطوير جيل جديد من المناظير الكبسولية ذات سمات متطورة. إذ ينبغي أن تحمل مثل هذه الإنســالة الحَبّية على متنها مســتقبلات الاستشــعار ومصدرا للضوء من أجل التصوير، وأن يكون بها آلية لتوصيل الأدوية العلاجية وأخذ الخزعــات، وأن تكــون قادرة علــى التحرك الذي يتحكم فيه اختصاصــي التنظير من خلال جهاز لاســلكي للتحكم من بعد. ومنذ عام 2000، دخلت شــركات ومجموعات بحثية أخــرى ذلك المجال. وعلى ســبيل المثال، فقد كونــت 18 فرقة أوروبية **اتحاد شركات (كونسورتيوم)** consortium مع المركز IMC لتطوير الكبســولات الإنسالية بهدف الكشــف عن السرطانات ومعالجتها. وقد اضطلع فريقنا في **المعهد العالي «ســانت أنّا» في پيزا بإيطاليا**[2] وتحت الإشــراف والتوجيه الطبي من <M. O. شــير> [من شــركة نوڤينيون في توبينگن بألمانيا] بالتنســيق العلمي والتقني لذلك المشروع المســمى ڤيكتور VECTOR اختصارا **لكبسولة التنظير المتعددة الأغراض لكشف ومعالجة أورام السبيل الهضمي (المعدي المعوي)**[3].

وجــاءت هــذه المجموعــات الأكاديميــة والصناعيــة بالعديد من الأفــكار المبتكرة، وقد

(1) the Intelligent Microsystem Center
(2) the Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa, Italy
(3) versatile endoscopic capsule for gastrointestinal tumor recognition and therapy

[أثناء العمل عليها]

إنسالات منمنمة صغيرة لتأدية وظائف واسعة النطاق(*)

لكي يصنع المهندسون إنسالة منمنمة تستطيع أن تؤدي عملها ضمن السبيل الهضمي كان عليهم أن يتحكموا لاسلكيا في تنقلاتها وفي حركاتها الدقيقة، وأن يُحْكِموا وضع الأدوات اللازمة، ومستقبلات الاستشعار التي تستخدم في التصوير ومصدر الطاقة داخل كبسولة صغيرة بالقدر الذي يسمح للمرضى بابتلاعها. وإليكم بعض الأمثلة للمهام المتنوعة التي يرغب المهندسون في أن تقوم بها الإنسالات والطرق المختلفة التي يحاولون أن يتغلبوا بها على التحديات التقنية.







قدمت على وجه الخصوص حلولا متنوعة للتحدي الجوهري، وهو كيفية التحكم في حركة أجهزة الكبسولة وهي داخل الجسم؟ وكانت كل مجموعة من تلك المجموعات قد أخذت واحدا من الأسلوبين الرئيسيين.

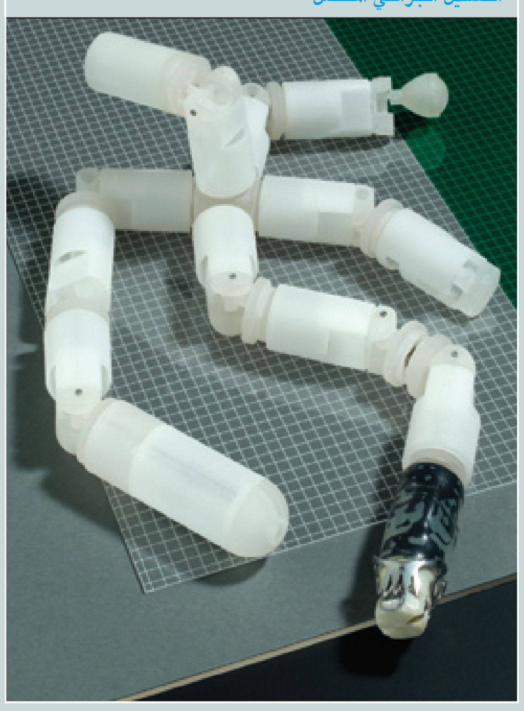
يتناول الأسلوب الأول توجيه حركة الكبسولة بأدوات التنشيط المحمولة على متنها - وهي أجزاء متحركة مثل المجاديف أو الأرجل أو أجهزة الدفع وما شابه ذلك من زوائد - بحيث تكون مندمجة ضمن الهيكل الخارجي للأجهزة، وتكون قادرة على العمل بمجرد دخول الكبسولة في السبيل الهضمي. ويتم تشغيل أدوات التنشيط بواسطة محركات مُنَمْنَمة، وهي تُستخدم في معظم الأحوال للتحكم في حركة الكبسولة، إلا أنه في بعض التصاميم تستطيع الأرجل إزاحة النسج المحيطة بالكبسولة لتساعد على الحصول على رؤية أفضل لشيء ما، أو لتساعد الكبسولة على المرور خلال قطعة ذات جدران منخمصة من الأمعاء. وتعتبر المحركات وأدوات التنشيط مشابهة للتروس الكبيرة الحجم عند مقارنتها بالحجم الإجمالي للكبسولة التي يمكن بلعها، الأمر الذي يجعل تضمين الأجزاء الأساسية الأخرى - مستقبلات الاستشعار الخاصة بالتصوير أو وحدة مخصصة للمعالجة مثل أداة لأخذ الخزعة - نوعا من التحدي. وفضلا عن ذلك، فإن تمديد نسيج ما يقتضي من الكبسولة قوة كبيرة تصل إلى 10 أو 20 ضعف وزنها، ويتطلب تحقيق ذلك أن تبذل المحركات عزما للتدوير يستهلك قدرا ملحوظا من طاقتها (نصف واط تقريبا). ويضع استهلاك الطاقة هذا عبئا على تقانة البطاريات، الأمر الذي يحد من طول المدة التي يمكن أن تعمل خلالها هذه الأجهزة.

(*) MINI BOTS FOR A WIDE RANGE OF JOBS

جراحة من بُعد

يتمثل أحد الطرق المتبعة لتوسيع نطاق المهام التي تستطيع الإنسالة الحبّية القيام بها بتصميمها بحيث تقوم بتجميع نفسها، إذ يبتلع المريض دستة منها أو أكثر. وبمجرد وصولها إلى داخل المعدة تنضمّ كل حبة إلى الحبات الأخرى لتكوين إنسالة واحدة كبيرة وقوية. وسيكون على الجراحين أن يشغّلوا هذه الأداة لاسلكيا، وعندما تستكمل الجراحة تنفصل أجزاء الإنسالة عن بعضها لتعود كبسولات تستطيع أن تخرج عن طريق السبيل الهضمي من دون أن تحدث أي أذى.

التشكيل الجراحي المحتمل



للمحافظة على طاقة البطاريات، فإن أفضل الحلول التي يمكن قبول مساوئها مقابل ما لها من حسنات هي أن لا تُستخدم أدوات التنشيط إلا للدفع فقط، مع إيجاد طرق أخرى لتمديد النسج. فمثلا يؤدي شرب المريض نصف لتر من أي سائل شفاف قبيل ابتلاعه الكبسولة التي تُوجّه بأجهزة الدفع إلى تمدد المعدة لمدة تصل إلى 20 دقيقة قبل أن ينزح السائل إلى الأمعاء الدقيقة، وخلال هذا الوقت تستطيع الحبة أن تسبح في جنبات السائل وأن تفحص بطانة المعدة باستخدام التحكم اللاسلكي.

وقد أدت ضخامة أدوات التنشيط المحمولة ضمن الحبات واستهلاكها للطاقة إلى دفع بعض الباحثين للتركيز على أسلوب آخر، وهو استخدام حقول مغنطيسية تُوَلّد خارج الجسم للتحكم من بُعد في حركة الكبسولة. ففي عام 2005 أدخلت شركتا أوليمپس وسيمنس نظام توجيه مغنطيسي لكاميرة حبيّة لافاعلة يؤدي إلى دوران الحبة. وقد ولّدت الحركة اللولبية الشبيهة بحركة نازع السدادات الفلينية احتكاكا خفيفا ساعد الكبسولة على الحفر ضمن الامتدادات الضيقة من السبيل الهضمي، مثل الأمعاء الدقيقة، وذلك وفقا لما ورد في الأدبيات التي نشرتها شركة سيمنس.

ومع أن استخدام المغنطيس لتوجيه كبسولة التنظير ضمن الأمعاء أمر بسيط، فإن تحقيق تحكُّم يُعتمد عليه باستخدام المغنطيس وحده هو أمر بالغ الصعوبة، ولأن الحقول المغنطيسية تفقد قوتها بتطاول المسافات، ونتيجة لهندسة الأمعاء غير المنتظمة، فإن التغيرات المفاجئة في قوة الحقل المغنطيسي يمكن أن تجعل الكبسولة تقفز أو يمكنها أن تقطع التحكُّم المغنطيسي بالحبة تماما. وفي الممارسة، يمكن لعدم الثبات هذا أن يضيع على التقني المشغِّل فرصة الاتصال بالحبة، ويجعله غير قادر على إيجادها مرة أخرى. ومن الممكن أن نعوض عن ذلك بإضافة المزيد من المغانط، الأمر الذي يعطي تحكما وثباتا أكبر، ولكن ذلك قد يتطلب إعدادا مرهقا للملفات الكهرمغنطيسية.

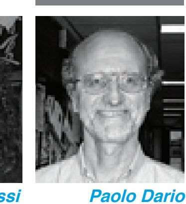
هجائن حسب الطلب(*)

وعلى ضوء جوانب القصور في الأساليب الداخلية والخارجية للتحكم في حركة الكبسولة، فإننا نعتقد أننا نحتاج إلى الجمع بين الطريقتين معا لإيجاد حل يكون مريحا للمريض، ويقدم تشخيصا يُعتمد عليه، فالتحريك المغنطيسي الخارجي كافٍ لتحديد موقع الكبسولة بصورة تقريبية داخل الأمعاء، وأدوات التنشيط الشبيهة بالأرجل مفيدة لتغيير الوضع أو للمناورة للحصول على رؤية أفضل.

وقد صمم فريقنا البحثي مثل هذه الكبسولة الهجينة بأربع أرجل تسيِّرها المحركات، وقد تم اختبارها في الخنازير التي تتميز بأن لأمعائها أبعادا مماثلة لأبعاد أمعاء الإنسان. وتبقى الأرجل مقفلة أثناء بلع الكبسولة وطيلة معظم الوقت الذي تستغرقه رحلتها في السبيل الهضمي، ويوجِّه مولِّد المجال المغنطيسي الذي

(*) Tailored hybrids

المؤلفان



Paolo Dario — Arianna Menciassi

أستاذان في الإنسالية الطبية البيولوجية في المعهد العالي سانت أنّا في پيزا بإيطاليا. في التسعينات من القرن العشرين اخترع <داريو> أول إنسالة لتنظير القولون يتمتع بالدفع الذاتي، كما كان رائدا في المناظير الكبسولية الإنسالية الموجَّهة لاسلكيا من خلال عمله مع ***مركز النظم الميكروية الذكية*** *Intelligent Microsystems Center في كوريا الجنوبية وبالشراكة مع باحثي الإنسالية الأوروبيين للإنسالية. أما <منشياسّي> فقد عملت بالتعاون مع <داريو> لمدة 10 سنوات، وهي متخصصة بالهندسة الدقيقة للعلاجات بالحد الأدنى من التدخل وبالتقانات النانوية الطبية.*

التتمة في الصفحة 76

أفكار تُغيِّر العالَم(*)

عشرون طريقة ابتكارية لبناء عالَم أذكى وأكثر نظافة وصحة.

ماذا قد يحدث إذا كانت **الألواح الشمسية**(1) مجانية؟

ماذا يحدث إذا كان بالإمكان معرفة كل شيء عن العالَم - ليس الإنترنت، وإنما العالَم المادي الحي - في الزمن الحقيقي؟

ماذا يحدث لو أن باستطاعة الأطباء التنبؤ بمرض قبل أن يصيب البشر بسنوات عدة؟

هذا هو ما تعد بعرضه هذه المقالة «أفكار تغير العالَم»: إنها رؤية بالغة البساطة مع أنها طموحة لدرجة أنه يستحيل التنبؤ بتأثيراتها كافة. وقد وقع اختيار هيئة تحرير مجلة *ساينتفيك أمريكان* وكذلك الهيئة الاستشارية لهذه المجلة، على موضوعات تضع تلك الأفكار في خمسة أصناف عامة - الطاقة، النقل، البيئة، الإلكترونيات **والإنسالات**(2)، والصحة والطب - تسلط الأضواء على قدرات العلم والتقانة على تحسين حال العالَم.

إن بعض هذه الأفكار مطبق حاليا وبعضها الآخر في طور الانبثاق من مختبرات الأبحاث؛ لكن كل واحدة منها تبين أن الابتكار هو أكثر **إكسير**(3) واعد لما يعتلنا.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) WORLD CHANGING IDEAS

(1) solar panels

(2) ج: إنسالة robot وهذه نحت من إنسان-آلي.

(3) إكسير elixir شفاء لكل داء. (التحرير)



طاقة

طاقة شمسية من دون

موجة جديدة من المشاريع تسعى إلى تركيب ألواح شمسية فوق سطح منزلك. التكلفة المدفوعة مقدّما: لا شيء.

<Ch. ميمس>

إن أكثر ما يعوق استخدام الطاقة الشمسية هو المال. ذلك أن تكلفة تركيب صفيف كبير من الألواح الشمسية فوق سطح بناء لتوليد جميع الطاقة التي يحتاج إليها تعادل تكلفة الكهرباء لسبع أو عشر سنوات قادمة - وهذا كله بعد احتساب الدعم الذي تقدمه كل من الحكومة الفدرالية والولاية. غير أن ابتكارا جديدا في التمويل فتح إمكانية إضافية لمالكي البيوت الراغبين في تقليل مساهمتهم في أثر الكربون وفي تخفيض تكلفة ما يستهلكونه من كهرباء: احصل على الألواح مجانا، ثم ادفع قيمة ما تستهلكه منها من كهرباء.

تشبه هذه الطريقة الرهن العقاري. فالأشخاص والمنظمات الذين يبحثون عن عائد مستقر لاستثماراتهم، وهي عادة البنوك أو مالكو سندات البلديات، يستعملون ما يجمعونه من مبالغ نقدية



دفعة أولى(*)

لتسديد ثمن الألواح الشمسية. ويشتري مالكو البيوت، بصورة مباشرة أو غير مباشرة، الكهرباء التي تولدها ألواحهم الشمسية المركّبة فوق سطوح منازلهم بسعر للكيلواط - ساعة أقل مما يدفعونه للكهرباء المستجَرّة من الشبكة العامة. وبذلك يحصل المستثمرون على استثمار مضمون - آخر جيل من تقانة الألواح الشمسية يعمل بصورة موثوقة منذ سنوات عدة - ويحصل مالكو البيوت على تخفيض في فواتيرهم الشهرية، عدا عن الرضا الناجم عن تخفيض ما يسببونه من أثر الكربون. ويقول <P. رايف> [أحد مؤسسي الشركة SolarCity]: «إنها طريقة للحصول على الطاقة الشمسية من دون دفع أي أموال وللبدء بتوفير المال بدءا من أول يوم. وهذا أمر غير مسبوق.»

إن الشركة SolarCity هي أكبر الشركات التي تركّب الألواح الشمسية في المنازل والتي اعتمدت هذه الاستراتيجية. وقد أسس هذه الشركة في العام 2006 أخَوان يقومان أيضا بإنشاء مشاريع جديدة في Silicon Valley ثم يبيعانها بعد نجاحها. وهذه الشركة تؤجّر ألواحها الشمسية لمالكي البيوت، ولكنها لا تتقاضى ثمن الكهرباء. وينتج من ذلك تخفيض فاتورة الكهرباء تخفيضا كبيرا (لأن الزبائن ما زالوا يحتاجون إلى استجرار الكهرباء من الشبكة حين لا تسطع الشمس)، إضافة إلى الفاتورة الشهرية التي تتقاضاها الشركة SolarCity. وتقدم الشركة SunRun في سان فرانسيسكو للمستهلكين عرضا مشابها، غير أن هذه الشركة تبيع لزبائنها الكهرباء عوضا عن تأجيرهم الألواح الشمسية.

وهناك مدن مثل بيركلي وبولدر تعدّ رائدة في طريقة تمويلها للألواح الشمسية، وذلك بإقراض الأفراد كامل المبلغ اللازم لشراء الألواح وتركيبها. وتتم تغطية المشروع بواسطة سندات البلدية، ويسدد مالك البيت القرض على مدى 20 عاما وكأنه جزء من فاتورة ضريبة الملكية. والنتيجة تبقى ذاتها وإن اختلف الأسلوب الذي يختاره المستهلك: فالمديونية الجديدة، بصورة ضرائب أو استئجار أو عقد كهرباء طويل الأمد، تكون نتيجتها أنها تكلف أقل من فاتورة الكهرباء الحالية.

يقول <M .D. كامّن> [مدير مختبر الطاقة المتجدّدة والمناسبة في جامعة كاليفورنيا في بيركلي]: «إن ما نبحث عنه في الحقيقة هو تحوّل في طريقة تفكيرنا حول كيفية شراء البضائع والخدمات المتعلقة بالطاقة». ويعتقد <كامّن>، الذي قام بإجراء التحليل الأولي لنموذج بيركلي للتمويل، أن المستهلكين سيتمكنون بالتحوّل إلى التمويل من التغلب على العائق الذاتي، الذي تتصف به الطاقات البديلة لدى مقارنتها بمصادر الطاقة الموجودة: فتكاليف البنية التحتية للطاقة المستمدة من الشبكة هي تكاليف مسددة أصلا، وفي حالات كثيرة كانت مدعومة على مدى عشرات السنين.

تنتشر المقاربات الثلاث جميعها بسرعة عبر البلاد. وعلى الرغم من أن عمر برنامج بيركلي أقل من سنتين، فإن عشر ولايات مختلفة أصدرت تشريعات تتيح لمدنها إنشاء برنامج من النمط بيركلي لقروض مموّلة بسندات. ومع إقرار مشروع قانون <واكسمان ماركي> حول الطاقة النظيفة والأمن، سيصبح الخيار أمام المدن لتنفيذ هذه البرامج قانونا فدراليا. وحاليا تنشط الشركة SunEdison الكائنة في ميريلاند في تسع ولايات. والشركة SolarCity التي لديها أكثر من 4000 زبون تنشط في كاليفورنيا وأريزونا وأوريگون، وقد وعدت بالإعلان عن الولايات الجديدة التي ستنشط فيها.

أما حاليا فمن غير الممكن تخفيض التكلفة الإجمالية للألواح الشمسية التي تُركّب فوق السطوح لكي تصبح «**نديّة للشبكة**(1)»، أي لكي تصبح بسعر الكهرباء المستجَرّة من شركات توليد الكهرباء المحلية، من دون دعم فدرالي مثل قرض ضريبة الاستثمار الذي يخفض الضريبة المفروضة على البنوك التي تمول هذه المشاريع. ومثل هذا الدعم، الذي يصل إلى 30 في المئة من تكلفة التجهيزات الشمسية، مضمون لمدة ثماني سنوات على الأقل، وعندئذ لا تعود الشركة SolarCity والشركات المنافسة لها بحاجة إليه كما تدّعي.

يقول <A. توث> [نائب رئيس التسويق في الشركة SunEdison]: «هناك عوامل عديدة تؤثر في النديّة للشبكة، منها تكلفة رأس المال وتكلفة الألواح الشمسية وتركيبها وشدة ضوء الشمس في منطقة معينة. وسوف تتحقق في ولايات مختلفة في أوقات مختلفة ولكننا نتوقع، مثلا، أن

(*) The No-Money-Down Solar Plan
(1) grid parity

تكون كاليفورنيا إحدى أولى الولايات في الولايات المتحدة التي تصل إلى مستوى الندّيّة للشبكة، وذلك بعد ما بين ثلاث وخمس سنوات.»

وفي الوقت الذي شهد فيه سعر الكهرباء المنتَجة من الوقود الأحفوري ارتفاعا بنحو 3 إلى 5 في المئة كل سنة في العقد الماضي، هبط سعر الألواح الشمسية وسطيا بمعدل 20 في المئة مع تضاعف عدد الألواح المركّبة. وتحدث النّدّيّة للشبكة عند تقاطع خطّي التوجه هذين - أما بعد ذلك، فلدى الطاقة الشمسية إمكانية لتزويد أكثر من مجرد المنازل بالطاقة. ويصعب أن تكون مجرد مصادفة أن يتبوأ <E. موسك> [رئيس شركة السيارات الكهربائية Tesla Motors]، منصبا في مجلس مديري الشركة SolarCity. ■

طاقة

أفكار مرتقبة(*)

<Ch. ميمس>

حديقة البنزين

إنها الخطوة التالية للوقود الحيوي: حياة نباتية مهندسة جينيا تنتج الهيدروكربونات كمنتج ثانوي لاستقلابها (أيضها) العادي. وسوف تكون النتيجة وقودا - بنزينا عاديا مثلا - وذلك بمجرد استعمال ضوء الشمس وغاز ثاني أكسيد الكربون فقط. ففي الشهر 2009/7 أعلنت الشركة Exxon Mobil خططا لإنفاق أكثر من 600 مليون دولار للبحث عن طحالب يمكنها أن تقوم بهذه المهمة. وتدّعي الشركة Joule Biotechnologies أنها نجحت في ذلك بالفعل مع أنها لم تكشف بعد عن أية تفاصيل حول منظومتها المسجلة باسمها.

منظومات نووية حارة

ليس اليورانيوم أوالپلوتونيوم الوقود الوحيد الذي يمكن أن يغذي مفاعلا نوويا. فبالابتعاد قليلا عن المواد الانشطارية التقليدية، يمكن للثوريوم أن يُحدث تفاعلا «وَلودا» مستديما بذاته بحيث ينتج اليورانيوم 233 المناسب تماما لتوليد الكهرباء من الطاقة النووية. ولهذه العملية فائدة إضافية أخرى حيث إنها تصمد أمام عملية الانتشار النووي لأن منتجاتها النهائية تُصدر من الأشعة گاما ما يكفي لجعل التعامل مع الوقود خطرا واقتنائه سهلا.

اقتصد في الطاقة بواسطة المعلومات

تبيّن الدراسات أن مجرّد جعل الزبائن مدركين لاستعمالهم الطاقة يخفض الاستهلاك بنحو 5 إلى 15 في المئة. وتتيح مقاييس ذكية للزبائن تتبّع استهلاكهم للطاقة كلّ دقيقة ولكل جهاز. وهناك الكثير من المشروعات الجديدة التي تقدم مثل هذه الأجهزة. وتتشارك كل من الشركتين Google و Microsoft بصورة مستقلة مع شركات الكهرباء المحلية في تمكين الأفراد من مراقبة استهلاكهم للطاقة على شبكة الوب.

طاقة الرياح من أعلى طبقات الغلاف الجوي (الستراتوسفير)

طبقا لدراسة أجريت في جامعة ستانفورد ونشرت في الشهر 2009/7 فإن رياح الطبقات العالية التي تهبّ باستمرار على ارتفاع عشرات آلاف الأقدام فوق سطح الأرض تحمل من الطاقة ما يكفي لتزويد جميع الحضارة البشرية أكثر من حاجاتها بنسبة 100 مرة. وقد اقترحت الشركة الكاليفورنية Sky WindPower جمع هذه الطاقة عن طريق بناء أسطول من الطواحين الهوائية العملاقة المحمولة جوا والمشدودة بحبال إلى الأرض، بينما تقترح الشركة الإيطالية Kite Gen تحقيق الهدف ذاته باستعمال طائرات ورقية.



IDEAS TO WATCH (*)

تحرير الولايات المتحدة من أعباء النفط(*)

شاحنات هجينة تعمل بالكهرباء توسّع آفاق المستقبل البعيد لوسائط النقل القصير المدى.

<A. شوپاك>

مركبة برايت الهجينة العاملة بالكهرباء

تستهلك شاحنات نقل البضائع نحو 40 في المئة من الوقود الذي يُضخ في الولايات المتحدة الأمريكية. وفي حين أن معظم اهتمام المستهلكين يتركّز على تحسين اقتصاد الوقود في المركبات الاستهلاكية، تبرز إلى العلن شائعات عن وجود فرصة ذهبية كبيرة. «فالناس لا يدركون أن استهلاك شاحنة صغيرة واحدة من الوقود يعادل استهلاك عدد كبير جداً من السيارات. فمن شأن شاحنة نقل هجينة أن تخفّض استهلاك النفط أكثر مما تفعله تسع سيّارات من طراز تويوتا پرايوس.» على حدّ قول <B. ڤان أمبورگ>، [كبير نائبي رئيس شركة كالستارت، وهي إحدى الشركات غيرالربحية لتقانة النقل النظيف، ومدير منتدى مستخدمي الشاحنات الهجينة].

فهناك نحو 1300 من الشاحنات الهجينة التجارية العاملة حاليا تحقّق كفاءة في استخدام الوقود تعادل ضعفي ما تحققه نظيراتها التقليدية. ولكن هذه الشاحنات الهجينة التقليدية محدودة بطبيعتها. إنها تستخدم الوقود المشتقّ من النفط بكفاءة أكبر عن طريق استيعاب جزء من الطاقة التي تفقد أثناء الفرملة.

من ناحية ثانية، تستمد الشاحنات الهجينة العاملة بالكهرباء طاقتها من الشبكة الكهربائية. ويمكنها اجتياز مسافة أميال – وفي حالات عدّة، رحلة تستغرق يوما كاملا – من دون أن تستهلك أي وقود أحفوري على الإطلاق، الأمرالذي يحوّل الطلب على الطاقة المستخرجة من النفط إلى المصادر القائمة على الشبكة الكهربائية. (في عام 2008، تمكنت مصادر الطاقة المتجدّدة والنووية الخالية من الكربون من تأمين 30 في المئة من مجمل الطاقة الكهربائية للولايات المتحدة.)

ومن نواحٍ عدّة، فإن تقانة وسائط النقل الهجينة العاملة بالكهرباء تكوّن مجدية بالنسبة إلى شاحنات التوصيل أكثر مما هي بالنسبة إلى المركبات العادية الاستهلاكية. فالشاحنة التي تنقل البضائع تجتاز مسافة يومية قصيرة يتخلّلها العديد من حالات التوقّف تستفيد خلالها من الطاقة الحركية المتولدة من عملية **الكبح الاسترجاعي**(١). وعلى سبيل المثال، فإن معظم شاحنات البريد التابعة للخدمات البريدية في الولايات المتحدة، والتي يزيد عددها على 000 200 شاحنة، تجتاز مسافة لا تزيد على 20 ميلا في اليوم الواحد. إضافة إلى ذلك، فإن أساطيل المركبات تعود ليلا إلى أماكن التخزين التي تتوفر فيها سبل الوصول إلى المنافذ الكهربائية اللازمة لإعادة شحنها والبالغة 120 أو 240 ڤلط.

وفي الآونة الأخيرة أطلقت وزارة الطاقة أكبر برنامج وطني للشاحنات الهجينة التجارية العاملة بالكهرباء، وذلك ضمن مشروع تبلغ تكلفته 45.4 مليون دولار ويرمي إلى تشغيل 378 مركبة من المركبات المتوسطة الحمولة في أوائل عام 2011. وهذه الشاحنات التي ستدخل في عداد 50 أسطولا من الأساطيل التابعة للبلديات والخدمات، سيكون لديها نظام للطاقة من شركة إيتون، وهي من كبار مصنّعي المكوّنات الكهربائية، وهيكل من طراز فورد F-550. (من ناحيتها، سوف تنتظر شركة فورد إلى أن يُثبت هذا الطراز جدارته في السوق قبل القيام بتصميم الشاحنات التجارية الكهربائية الخاصة بها). وبهذا الصدد يصرح <P. سكوت> [رئيس اتحاد المركبات الكهربائية في كاليفورنيا الجنوبية] قائلا: «إن إطلاق هذه الشاحنات سوف يتمّ خلال عام 2011.»

إلاّ أن لدى شركة «برايت أوتوموتيڤ» الحديثة النشأة خطة أكثر طموحا. فهي ترمي إلى الاستعاضة بحلول عام 2014 عن 000 50 شاحنة على الأقل بشاحنات هجينة تعمل بالكهرباء. فالنموذج الأولي «أيديا» IDEA (*في هذه الصفحة*) لهذه الشركة يجتاز مسافة 40 ميلا على طاقة البطارية قبل أن يتحوّل إلى محرّكٍ رباعي الأسطوانات يستهلك گالونا واحدا كلّ 40 ميلا. ومع أن لجسم المركبة المشوق المصنوع من الألومنيوم نفس حمولة شاحنة البريد، لكنه يتّسم بقدر أكبر من الانسيابية. فوزن الشاحنة يعادل وزن سيارة عادية متوسطة الحجم.

يقول <J .E. ووترز> [مؤسس شركة برايت أوتوموتيڤ والمُطوّر السابق لنظام البطاريات العائد لسيّارات جنرال موتورز الكهربائية الرائدة EV1]: «إن كلّ مركبة من طراز «أيديا» سوف توفر 1500 گالون من الوقود وتخفّض سنويا

(*) Delivering the U.S. from Oil

(١) regenerative braking

16 طناً من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالشاحنة التجارية العادية.» يقول إنه مستعد لبدء عمليات التجميع في مصنعه بالولايات المتحدة فور حصوله على قرض اتحادي مرتقب تبلغ قيمته 450 مليون دولار.

وعلى الرغم من الجاذبية التي تحدثها وفورات الكربون، فإن مالكي الأساطيل الذين هم الزبائن الرئيسيون للشاحنات لديهم المزيد من الاعتبارات العملية. فالمسؤولون التنفيذيون في شركة برايت متحفظون بشأن السعر النهائي للنموذج الأولي لمركبة «أيديا»، ولكنهم يؤكدون أن الزبون الذي سيكون لديه 2000 شاحنة تجتاز مسافة 80 ميلا في اليوم، بمعدل خمسة أيام في الأسبوع، يمكنه أن يوفر 7.2 مليون دولار سنويا. وقد لا يعتبر هذا كافيا في الوقت الحاضر لتبرير عمليات ضخمة من الشراء دون إجراء تخفيضات إضافية على الأسعار– أو فرض ضريبة على الكربون. وبحسب تقديرات ‹ڤان أمبورگ› فإن التحوّل إلى المركبات الهجينة يرفع حاليا التكاليف المدفوعة سلفا للمركبة الواحدة بقيمة تتراوح بين 000 30 و 000 50 دولار، مع أن هذا المبلغ سينخفض مع زيادة حجم الإنتاج.

كذلك، سوف تسهم تقانة البطاريات في تحسين هذا الوضع. فحزمة بطاريات أيونات الليثيوم ذات القدرة 13 كيلواط–ساعة التي توضع حاليا في مركبة «أيديا» تستأثر الآن بنحو ربع التكلفة الإجمالية للمركبة. كما أن معظم الأبحاث التي أجريت على البطاريات التي وضعت في سيارة شيڤي ڤلط وغيرها من المركبات العاملة بالكهرباء يجب أن تنطبق على البطاريات الاستهلاكية. وفي هذا الصدد يقول ‹D. لاوزن› [نائب رئيس قسم تطوير الإنتاج]: «مقابل الإنجازات التي نودّ جميعا تحقيقها، لن تحتل هذه المركبات المرتبة الأولى في العالم إلا حين تصبح خيارا اقتصاديا – وعندئذ سأكون مضطرا إلى الحصول عليها نظرا لما توفره من مال.»

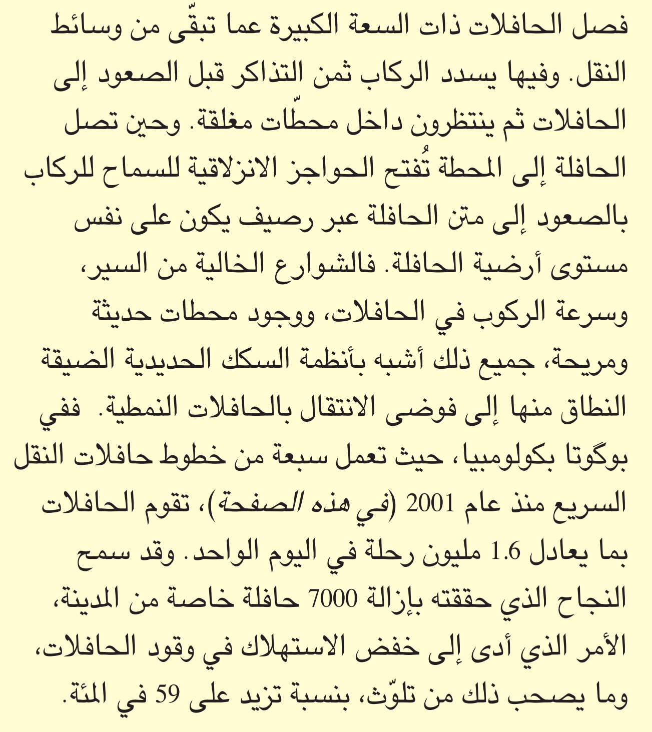


نَقل

حافلات النقل السريع(*)

تعمل خطوط الحافلات الشبيهة بخطوط الأنفاق على تعزيز المستقبل العمراني.

‹M. موير›



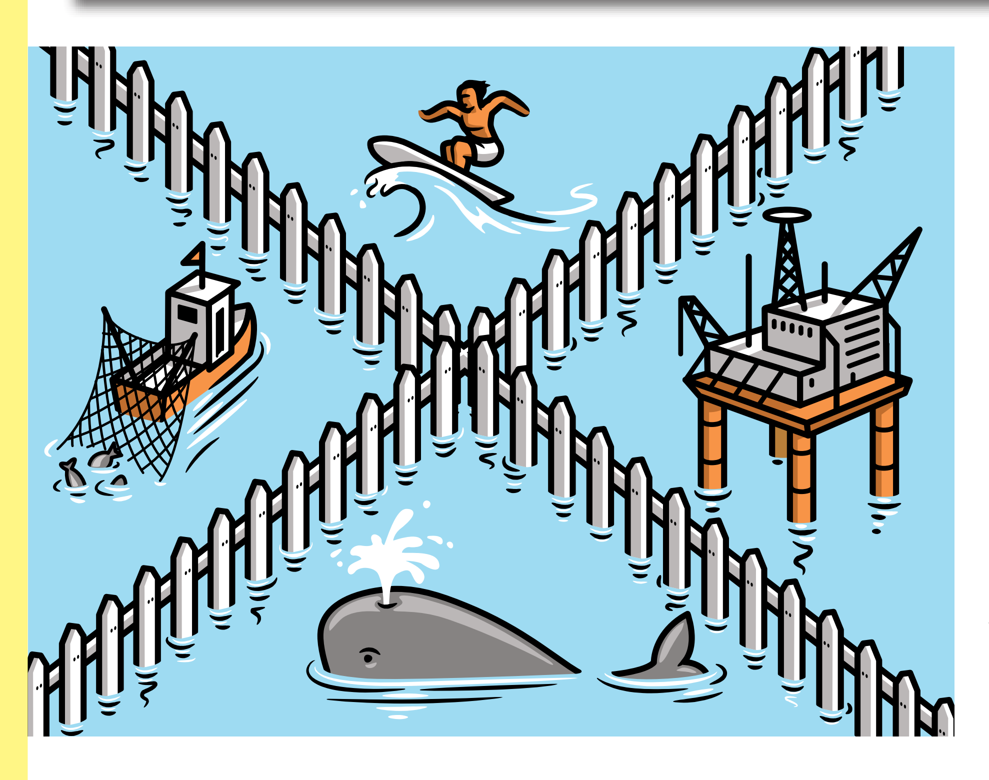
للمرة الأولى في تاريخ الحضارة البشرية يسكن حاليا في المناطق العمرانية عدد من الناس يفوق عدد سكان الأرياف. وهذا التحوّل يخلق عددا من المعضلات ليس أقلها كيفية انتقال الناس داخل مدن العالم الدائبة على النمو والتوسّع. وتعمل حالات التلوّث والازدحام المروري على الابتعاد عن اعتماد الخيار القائم على السيارات، فيما تتسم أنظمة السكك الحديدية الضيقة النطاق بالبطء وبتكلفتها الباهظة. وأحد الخيارات البسيطة – والجذّابة – يتمثل بحافلات النقل السريع التي تمّت هندستها لكي يكون عملها شبيها بعمل وسائط نقل الأنفاق التي تسير على عجلات. ففي هذه الأنظمة، تتولى الحواجز الخرسانية على الطرقات القائمة فصل الحافلات ذات السعة الكبيرة عما تبقّى من وسائط النقل. وفيها يسدد الركاب ثمن التذاكر قبل الصعود إلى الحافلات ثم ينتظرون داخل محطّات مغلقة. وحين تصل الحافلة إلى المحطة تُفتح الحواجز الانزلاقية للسماح للركاب بالصعود إلى متن الحافلة عبر رصيف يكون على نفس مستوى أرضية الحافلة. فالشوارع الخالية من السير، وسرعة الركوب في الحافلات، ووجود محطات حديثة ومريحة، جميع ذلك أشبه بأنظمة السكك الحديدية الضيقة النطاق منها إلى فوضى الانتقال بالحافلات النمطية. ففي بوگوتا بكولومبيا، حيث تعمل سبعة من خطوط حافلات النقل السريع منذ عام 2001 (*في هذه الصفحة*)، تقوم الحافلات بما يعادل 1.6 مليون رحلة في اليوم الواحد. وقد سمح النجاح الذي حققته بإزالة 7000 حافلة خاصة من المدينة، الأمر الذي أدى إلى خفض الاستهلاك في وقود الحافلات، وما يصحب ذلك من تلوّث، بنسبة تزيد على 59 في المئة.

(*) Bus Rapid Transit

إصلاح المحيطات(*)

تحديد النُّطُق البحرية هو علاج جريء للبحار المتضرِّرة.

<S. سمپسون>



لا يُنكر الكثير من السياسيين اليوم مدى تعرّض المحيطات والبحار للاعتلال. فحماية سـلامة المياه الساحلية صارت اليوم قضية تندرج في إطار السياسات الوطنية في العديد من البلدان، بما فيها الولايات المتحـدة. كما أنّ قادة وزعماء العالـم قد شـرعوا فـي وصف علاج ثوري لطالما قـام مناصرو الحفاظ على البيئة بالترويج له لسنوات عدة، ألا وهو تخطيط البحار وتحديد النُّطق البحرية.

وهذه الفكرة ليسـت سـوى امتداد طبيعي لسياسـات الإدارة التي عملت على توجيه تنمية وتطوير المدن والمناظر الطبيعية لنحو قرن من الزمن. فكما أنّ مـن البديهي ألا تكـون متاجر الصور الإباحيـة موجودة علـى مقربة من دور الحضانـة ومـدارس الأطفـال، وألا تشـكل منصات الحفر قطعـا مركزية فـي المُتنزّهـات والمحميّـات الوطنية، كذلك يتصـور دُعاة فكرة تحديد النطق البحرية وجود فسيفسـاء من الخرائط الإقليمية يكون فيها كل حيّز مائي على كوكب الأرض مخصّصا لغرض معيّن. فلا يُسمح بعمليّات الحفر والتعدين إلا في أجزاء معينة من المحيطات والبحار، فيما لا يُسـمح بأنشطة صيد الأسماك إلا في أمكنة أخرى. أما المناطق المهدّدة التي تحدق بها الأخطـار؛ فتقع خارج هذه الحدود.

وفيما يتمكـن الناس بسـهولة من إيجـاد خرائط ترشـدهم إلـى مناطق معينة على اليابسة وتحدّد لهم الأنشطة التي يمكنهم مزاولتها فيها، مازال عالَم البحار خليطا تعمّه فوضى من القوانين والقواعـد المنبثقة من جيوش عارمة من الهيئات والوكالات، التي تدير كلّ واحدة منها اسـتخداما من الاستخدامات أو عَرَضا مـن الأعراض. ففـي الولايات المتحدة مثلا، تقوم إحدى الهيئات بتنظيم الأنشـطة التجارية لصيد الأسـماك، عادة كل نوع على حدة. وتقوم مجموعة أخرى بإدارة المواد السـامّة، فيما تقوم مجموعة ثالثة بعمليات التعدين في قاع البحار، ومـا إلى ذلـك – حيث يصل مجمـوع هـذه الـوكالات أو الهيئات الاتحاديـة إلى 20 تقريبـا. وهي تنحو إلى صناعة القـرارات من دون مراعاة لما يقـوم به الآخرون، على ما يُبيّن عالم البيئة البحرية في جامعة ديوك السـيد <B. L. كراودر> حـين يقول: «تخيّلوا لو أن جميع الأطباء الاختصاصيين قاموا، كل واحد منهم على حدة، بزيارة مريض قابع في مركـز العناية الفائقة من دون أن يتواصلـوا مع بعضهم بعضا. إنها لمعجـزة ألا يكون وضع البحار أسـوأ بكثير مما هو عليه الآن.»

إن مناصـري الحفاظ على سـلامة المحيطـات والبحـار، مثـل السـيد <كـراودر>، ينتظـرون بفـارغ الصبر التوصيات النهائية لفريق العمل الخاص الذي كلفه الرئيس <باراك أوباما> القيام بوضـع خطـة لإدارة عمليـات إصلاح ميـاه الولايات المتحـدة، التي تمتد إلى مسافة 200 ميل بحري خارج السـواحل البحريـة. ويعـدّ هذا المشـروع ضخم النطاق: فالولايات المتحدة تسـيطر على 4.4 مليون ميل مربع من المناظر والمواقع البحرية، مما يجعل مساحات العقارات الموجودة تحت البحار فـي البلاد أكبر بنسبة 25 في المئة من المساحات الممتدة فوق اليابسـة. ويفترض التقرير الأولي للجنة الذي صدر في الشهر 2009/9 أن

(*) Ocean Overhaul

أفضل طريقة للتقليل إلى الحد الأدنى من التأثيرات البشرية في البحار والمحيطات تتمثل بالتحكم في إدارة المناطق بدلا من التحكم في أعراض الاضطراب.

ويأمل الكثير من علماء البيئة بأن تُنفّذ هذه الخطط من خلال ما يقابلها من عمليات رسمية لتحديد النُّطق البحرية، التي من شأنها أن تمنحهم بعض النفوذ في المجالات التي يفتقرون إليها تماما الآن. ففي المناطق التي يُعتبر فيها الحفاظ على البيئة النشاط المُهيمن، لن تعود أعمال صيد الأسماك والأنشطة التجارية، كالتعدين، صاحبة اليد الطولى في هذه المناطق. وفي ظل القوانين الراهنة، يبدو أن الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يسلكها مناصرو الحفاظ على البيئة لعرقلة مشروع يعتبرونه مشروعا ينطوي على مضار– كإقامة موقع جديد للحفر على السواحل – هي المقاضاة الباهظة التكلفة.

وحتى الوقت الحاضر، حرص فريق العمل الخاص بالرئيس على عدم الإيحاء أن تحديد النُّطق البحرية سيمثل خطة العلاج الوحيدة؛ ويُعزى ذلك بمعظمه إلى أن أي جهد يرمي إلى تقييد المصالح التجارية أو الحدّ منها، لا بدّ وأن يُواجه بمعارضة شرسة. وفي هذا الصدد يقول ‹J. C. أوگدن› [مدير معهد فلوريدا لعلم المحيطات في جامعة ساوث فلوريدا بتامپا]: «إن تحديد النُّطق البحرية لا يمثل الممارسة المفضلة لدى الجميع، فلابد أن يلحق الأذى بجهة ما.» أما أكثر المتشددين في مناهضة التغيير، فَهُم على الأرجح المستخدمون التقليديون للبحار والمحيطات؛ أي أصحاب مصايد الأسماك وصناعة النفط. ويستطرد ‹أوگدن› قائلا: «لقد اعتادوا لفترة طويلة من الزمن على التعامل مع هذا المكان وكأنه مِلْكٌ لهم.»

ولكن سرعان ما يبادر ‹أوگدن› وآخرون إلى القول إن ممارسة تحديد النُّطق قد تعود بالنفع على التجارة بالقدر نفسه الذي تعود به على الحفاظ على البيئة. فمن خلال تخلي الصناعات عن إمكانية النفاذ إلى مجالات معينة، فإنها تحظى بمعرفة أن أنشطتها قد تُرَخَّص بطريقة يمكن التنبؤ بها أكثر وبتكلفة أقل مما هي عليه اليوم، حسبما أوضح السيد ‹J. إيگل› [الأستاذ المشارك في كلية الحقوق بجامعة ساوث كارولينا]. ففي استطاعة شركات النفط الآن أن تتقدم بطلب للحصول على تراخيص للقيام بأعمال الحفر في أي مكان عمليا، شريطة أن تضطلع بتحمل المسؤولية المالية الكبيرة التي قد تترتب على ذلك في كل مرة. وقد يقوم مجال الأعمال هذا بصرف ملايين الدولارات في الأبحاث المتعلقة بمرفق جديد فقط ليتبين لاحقا أنه جرت عرقلته بدعوى قضائية رُفعت في اللحظة الأخيرة. وبحسب قول ‹إيگل›، فإنه حين تشارك الأطراف المتعارضة على قدم المساواة في وقت مبكر من عملية التخطيط، تخف لديها النزعة لإعاقة أنشطة بعضها بعضا فور رسم النُّطق وتحديدها على الخريطة.

وليس من المؤكد ما إذا كان التقرير النهائي لفريق العمل الخاص بالرئيس سيعمل على تشجيع تحديد النُّطق البحرية بشكل مُعلن أم لا. ولكن الفريق قد قطع على نفسه عهدا بإصلاح هيكل أسلوب إدارة البحار والمحيطات من خلال اقتراح إقامة مجلس وطني للمحيطات تتمثل وظيفته بتنسيق الجهود التي يبذلها العديد من الهيئات والوكالات التي تتولى زمام الأمور حاليا.

وقد جاءت هذه الخطوة في حينها. ففي الوقت الذي بدأ فيه المجتمع بتقدير ما يلزم بذله من جهود جبّارة في سبيل الحفاظ على سلامة البحار والمحيطات، أفلا يجدر به أن يطالبها بتقديم المزيد من الخدمات بالمقابل – المزيد من الطاقة، والمزيد من الغذاء، وقدر أكبر من المرونة والقدرة على التكيّف مع تنمية السواحل وتغيّر المناخ. فالسبب وراء الأزمة التي تعانيها المحيطات والبحار لا يعزى إلى ما يلقيه البشر فيها أو ما يستخرجونه منها، بل إلى إخفاق الحكومات في إدارة هذه الأنشطة على نحو صائب. وبهذا الصدد يقول ‹كراودر›: «إنه يتعين علينا التعامل مع البحار بشمول وليس مع كل عَرَض من الأعراض على حدة.»

(*) The Power of Garbage

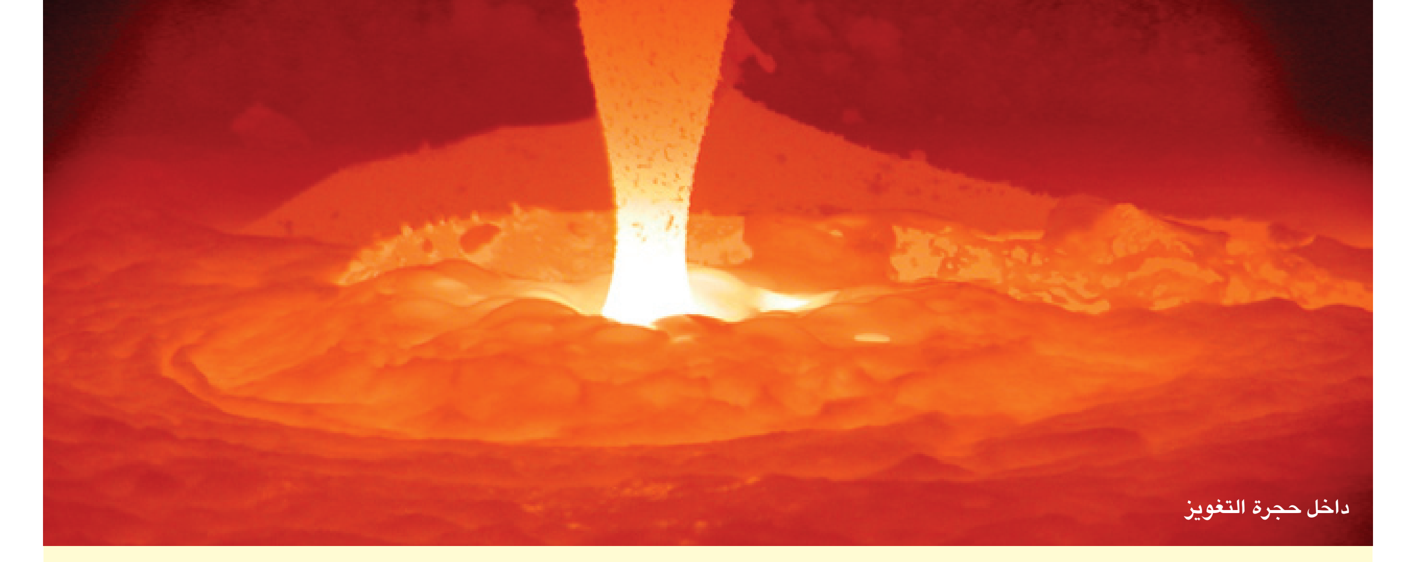
بيئة

القوة الكامنة في النفايات(*)

إن البرق المُحتجز في النفايات قد يسهم في التهامها وتدميرها، وفي توليد الطاقة الكهربائية.

‹J. پاڤلوس›

تكون النفايات محمّلة بالطاقة المحتجزة في الروابط الكيميائية الموجودة في موادها. وقد تكون تقانة **تغويز البلازما** plasma gasification قد أصبحت أخيرا جاهزة لاستخراج الطاقة بعد أن امتدّ تطويرها إلى عقود زمنية عدة.



داخل حجرة التغويز

وتعتبر هذه العملية بسيطة من الناحية النظرية. **فالمشاعل**[1] تقوم بتمرير تيار كهربائي عبر غاز (عادة ما يكون الهواء العادي) موجود في حجرة من أجل تكوين البلازما الفائقة السخونة – وهي عبارة عن غاز مؤيّن بدرجة حرارة قدرها 7000 درجة مئوية، أي أكثر من حرارة سطح الشمس.

ونحن نطلق على ذلك حين يحدث اسم البرق أو الصاعقة، وليس تغويز البلازما سوى مجرّد برق أو صاعقة يحدث داخل قارورة، بكل ما لهذه الكلمة من معنى: فالحرارة الهائلة للبلازما تؤدي إلى تفكيك الروابط الجزيئية للنفايات الموجودة داخل الحجرة محوّلة المركّبات العضوية إلى غاز تركيبي يدعى **سنگاز** syngas (توليفة مركّبة من أول أكسيد الكربون والهدروجين) وعاملة على احتجاز كل شيء آخر ضمن مادة بلورية صلبة خاملة تدعى **الخبث** slag. ويمكن استخدام هذا السنگاز في **العنفات (التوربينات)** turbine لتوليد الكهرباء. كما يمكن استخدامه في إنتاج الإيثانول والميثانول والديزل الحيوي (البيوديزل). أما الخبث، فيمكن معالجته وتحويله إلى مواد تستخدم في عمليات البناء.

ومن الناحية العملية، عجزت فكرة التغويز من الناحية الاقتصادية عن منافسة المعالجة التقليدية للنفايات. ولكن أسعار هذه التقانة الآخذة بالنضج والاكتمال بدأت تنخفض، فيما تشهد أسعار الطاقة ارتفاعا متواصلا. ويقول ‹L. سيرسيو› [مدير أبحاث البلازما في معهد جورجيا للأبحاث التقانية]: «لقد حدث تقاطع في المنحنيات أخيرا– فأضحى نقل النفايات إلى مصنع البلازما أقل تكلفة من إلقائها في المكبّات أو في أماكن الردم.» وفي وقت سابق من صيف 2009، دخلت المؤسسة العملاقة Waste Management التي تعمل على التخلص من النفايات في شراكة مع InEnTec، وهي شركة مبتدئة مقرها في أوريگون، للبدء بتسويق عمليات تغويز البلازما الخاصة بالأخيرة وتداولها تجاريا. وثمة منشآت أو مصانع ريادية كبرى قادرة على معالجة 1000 طن أو أكثر من النفايات يوميا لا زالت قيد التطوير والإعداد في ولايات فلوريدا ولويزيانا وكاليفورنيا.

ولكن البلازما ليست مثالية. فالمواد المعدنية الثقيلة السامة المحتجزة في الخبث تجتاز معايير **قابلية النضّ** leachability المعتمدة من وكالة حماية البيئة (وقد استخدمت لسنوات عديدة في مجال البناء في اليابان)، ولكنها لا تزال تمنح مجالا للتريّث للمجتمعات التي تنظر في بناء المصانع. فمع أنّ للكهرباء المتولدة من السنگاز أثرا كربونيا أصغر من الأثر الكربوني للفحم بشكل لا يمكن تجاهله، ولكنه يظل يعتبر مسهما كبيرا في غازات **الاحتباس الحراري (الدفيئة)** greenhouse – حيث يقول ‹سيرسيو› في هذا الخصوص: «إن كل طنّ من النفايات تجري معالجته باستخدام البلازما يعمل على خفض ثاني أكسيد الكربون الذي يتم إطلاقه في الغلاف الجوي بمقدار طنّين تقريبا».

ويُصرّح ‹سيرسيو› قائلا: «إن الوضع هو من الروعة بمكان بحيث يتعذّر تصديقه. إلا أنّ تقديرات وكالة حماية البيئة بينت أنه إذا ما تمّت معالجة جميع النفايات الصلبة في الولايات المتحدة باستخدام البلازما لتوليد الكهرباء، فإنه يمكننا إنتاج نسبة تتراوح بين 5 إلى 8 في المئة من مجمل حاجتنا إلى الكهرباء – أي ما يعادل إنتاج نحو 25 منشأة من منشآت الطاقة النووية أو إجمالي ناتج الطاقة الكهرمائية الحالية». فمع أنه من المتوقع أن تنتج الولايات المتحدة مليون طنّ من النفايات كل يوم بحلول عام 2020، فإن استخدام البلازما في سبيل استرداد بعض من هذه الطاقة قد يتسم بأهمية بالغة بحيث لا يمكن التخلّي عنه.

(1) Torches

أفكار مرتقبة

<د. پاڤلوس>

إسمنت يمتصّ الكربون كالإسفنج

يؤدي إنتاج الإسمنت التقليدي إلى تكوين 5 في المئة على الأقل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية، بيد أنه يمكن للمواد الجديدة أن تُوجد الإسمنت ذا الكربون المحايد (المحايد كربونيا). وتستخدم الشركة المبتدئة Novacem، التي تدعمها كلية إمپيريال في لندن، أكسيد المغنيسيوم لصنع الإسمنت الذي يمتصّ بطبيعته ثاني أكسيد الكربون أثناء تصلّده. وتقوم الشركة Calera الكائنة في كاليفورنيا باستخدام مياه البحر لعزل انبعاثات الكربون الناشئة عن مصنع طاقة مجاور، في الإسمنت.

نوع جديد من نحل العسل



تسبّب **اضطراب انهيار التجمّعات** (CCD)[1] في القضاء على أكثر من ثُلث مستعمرات نحل العسل منذ عام 2006. فالمزارعون الذين يعتمدون على النحل لتلقيح بعض أنواع المحاصيل، مثل اللوز والدرّاق والتفاح، يتجهون إلى نحل البساتين الأزرق لتطويق الركود في الوضع. ففي وسع حشرة كفؤة واحدة من النوع *Osmia lignaria* (*في اليمين*) تلقيح منطقة تحتاج عادة إلى 50 من نحل العسل، علما بأنه من الصعب تربية النحل نظرا لطبيعته الانفرادية. وليس بإمكان هذا النوع الذي يمثل فرصة سانحة أن يحل تماما محل نحل العسل، ولكن مع استمرار الكفاح الذي يبذله العلماء لعلاج الاضطراب CCD، قد يقوم هذا النوع بدور شبكة أمانٍ زراعية.

محاصيل المياه المالحة



مع تحول إمدادات المياه العالمية إلى موارد شحيحة بشكل مطرّد وتدني الإنتاج الغذائي، قد تعمل المحاصيل الزراعية التي تتحمل نسبة أكبر من الملوحة على التخفيف من هذا العبء. وقد عمد الباحثون في جامعة أديلايد بأستراليا إلى اعتماد الهندسة الجينية لتعزيز القدرة الطبيعية لدى محاصيل زراعية اتخذت كنموذج، من أجل الحيلولة دون تراكم الأملاح أو المياه المالحة في أوراقها، والسماح بذلك للنبات بأن يزدهر وينتعش في ظروف كانت تؤدي إلى إصابته بالذبول. وفي حال نجاح التعديل المعقّد للجين نفسه في محاصيل الحبوب كالأرز (*في اليسار*) والقمح، التي تخضع لاختبارات يجريها الباحثون اليوم، فإن الأراضي البور التي تدمّرت من جرّاء الجفاف أو الإفراط في الريّ قد تتحول إلى سلال غذائية جديدة.

(١) Colony Collapse Disorder

الآلات القديرة(*)

محسات بالغة الصغر وعميمة الانتشار، تتيح لنا رسمَ العالَم المادّي مثلما ترسم شبكةُ الوِب الفضاءَ السيبريّ.

<G. مون>

في أوائل عام 2009 أعلنت الشركة هيوليت – پاكارد (HP)(1) إطلاق مشروعها المسمّى **الجملة العصبية المركزية للكرة الأرضية** (CeNSE، اختصارا(2))؛ وهو ثمرة مجهود دام عشر سنوات، يرمي إلى دسِّ عدد هائل من المحسات قد يصل إلى التريليون ولا يتجاوز قدّ واحدها حجمَ **دبّوس الكبس** pushpin في جميع أنحاء كوكبنا. ويؤكد المختصون بالتقانة أنَّ المعلومات التي جَمَعَتْها شبكةُ المحسات العميمة هذه من شأنها أن تُحدث تغييرا في معرفتنا عن العالم، يحاكي – في عمقه وبُعْد أثره – التغييرَ الذي أحدثَتْه شبكةُ الإنترنت في عالَم الأعمال. يقول المتنبئ التقاني <P. سافّو>: «لم يكن لدى الناس أي فكرة عن قدوم الوِب؛ ونحن اليوم نعيش مثل تلك اللحظة بوجود الاستشعار المنتشر في كلِّ مكان. ولا شك في أن ثمة ثورة تقانية مذهلة باتت على وشك الوقوع.»

إن نشر المحسات المتعددة الاستعمال، أو **الهباءات النقطية** motes، وما تمتلكه الحواسيب من مقدرة على تحليل الاستجابات للبيانات المتولدة من هذه المحسات، بل وعلى التوصية بها أو المبادرة إليها، لن يعزز فهمنا للطبيعة فحسب، بل إنه قد يؤدي إلى أبنية قادرة على التحكم في استعمال طاقتها الذاتية، وإلى جسور تلوِّح للمهندسين حالما تصبح بحاجة إلى تصليح، وإلى سيارات تسلك مسارات مرور معيَّنة وتستطيع كشفَ الحُفَر والأخاديد، وإلى منظومات أمنية منزلية تميِّز في وقع الأقدام بين متطفل غريب والكلب الأمين؛ وهذا غيضٌ من فيض الإمكانات المحتمَلة.

والمشروع CeNSE هو أجرأ المشروعات المعلَنة حتى الآن، غير أن الشركة HP ليست الوحيدة الساعية إلى تطوير التقانة التي تجعل الاستشعارَ الشامل ممكنا. فشركة إنتل Intel تنهض أيضا بتصميم رُزَم استشعار محسية مبتكَرة، ومثل ذلك تقوم به مختبرات جامعية عديدة.

وفي مقابل جميع النشاط الفاعل في هذا المضمار، فإن المستقبلَ الزاخرَ بالمحسات ليس أمرا حتميا على الإطلاق؛ ذلك أن على هذه الأدوات أن تولِّد بيانات غنيَّة يعتمد عليها، ولا بد من أن تتَّصف بالمتانة إلى درجة تمكِّنها من تحمُّل العوامل البيئية القاسية. ولئن كانت الرزم المحسية صغيرة بحدِّ ذاتها، فإن الجهود الحاسوبيَّةَ التي تستدعيها كبيرة جدا، كما أن جميع المعلومات التي تجمعها يجب نقلها، واستضافتُها في **مزارع مخدِّمات**



(*) The Omnipotence Machines
(1) Hewlett-Packard
(2) Central Nervous System for the Earth

server farms[1]، ثم تحليلُها. وأخيرا لابدَّ مــن أن تتحمَّل جهة ما كاملَ تكاليفها. وفي هذا الســياق، تشــير الباحثة في علــم الحاســوب <D. إســترين> [من جامعــة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] إلى «ضرورة الالتفات إلى مسألة مهمة هي المسألة الاقتصادية، فكلُّ محس هو في الواقع تكلفة ليســت صِفْرية، فهو يحتاج إلــى الصيانة والطاقة والحفاظ على ضبطه ومعايرته، فالأمر لا يتوقف عند نشر المحسات وحسب.»

ويقرُّ <P. هارتْول> [كبير الباحثين فــي الشــركة HP] بــأن المشــروعَ CeNSE لكــي يحقــق أغراضَه، لابدَّ من أن تكون المحسات مجانية تقريبا. وهذا واحد من الأســباب التي دعت الشركة HP إلى تصميم رزمة وحيدة بقــدّ دبوس الكبس تفعل كل شــيء، وتتكدس فيها أنــواع من المقاييس – للضوء والحرارة والرطوبة والاهتزاز والإجهاد وغير ذلك – بدلا من سلسلة من الأدوات تؤدي كل منها إحدى هذه المهمــات المختلفة. ويلاحظ <هارتْول> أن التركيز علــى أداة واحدة متعدِّدة الأغراض من شــأنه أن يزيد الحجم وأن يخفض تكلفة كلٍّ واحدة، غير أنه قد يسمح للشركة بتخديم زبائن عدة في آن معا وبالمحسات نفسها.

انظر في مشروع هارتول الهندسي الرئيســي، وهــو مقياس للتســارع الفائق الحساسية. وفيه يقوم المحس، المحتــوى ضمــن **شــيپة** chip، بتتبع حركة منصَّة داخلية صغيرة متحرِّكة، بالنســبة إلى بقيــة أجزاء الشــيپة، تمكنها من أن تقيس تبدُّلات التسارع بدقة تزيــد 1000 مرة على دقة التقانة في جهاز **نينتاندو وي**[2].

تتصــوَّر الشــركة HP غرسَ هذه الدبابيس على امتداد طريق ســريعة بفواصــل قدرهــا 16 قدمــا بين كل دبوســين، وبذلك تــؤدِّي الهبــاءاتُ النقطية – بفضل محســات الحرارة والرطوبــة والضــوء – دورَ محطات رصــد جــوّي ميكرويــة (صُغْرية)، إضافــة إلى إمــكان تحليــل بيانات الاهتزاز في مقاييس التسارع لتحديد أحوال حركة المرور على الطريق، من قبيل معرفة العدد التقريبي للسيارات العابرة وسرعاتها. ويتوقع <هارتْول> أن تهتم إدارة الطرق السريعة المحَلية بمثل هــذه المعلومــات، إلا أن هناك أيضــا تطبيقــات تفيد المســتهلكين. وفــي ذلك يقول <هارتْول>: «قد ترغب شــركةُ الاتصــالات اللاســلكية في أخذ تلــك المعلومات لإخبــارك كيف تســتطيع الوصول إلى المطار بأسرع ما يمكن.»

إن جمع هذه البيانات وإرســالها يتطلبان طاقة بلا ريــب. ولكي يكون عمر دبوس الشــركة HP مديدا، فهو لن يعتمد على طاقة البطاريات وحدها. فحسب الشــركة HP: «سيعتمد على شــيء من مســح أنواع الطاقة، ربما بتدبير لوح من الخلايا الشمســية أو نوع من الأدوات الكهرحرارية، يساعد على إبقاء البطارية مشحونة.»

غير أن جهات أخرى تستغني عن البطاريــات كليّا آخذة بالاعتبار عقبة الطاقة. فقد طوَّرَ المهندس <J. سميث> [من مختبرات إنتل في سياتل] رزمة من المحسات تعمل بالطاقة الراديوية سمّاها **منصَّة التعرُّف والاستشعار الراديــوي** (WISP، اختصــارا[3])، تتضمن – شأن الدبوس HP – أنواعا من المقاييس، ولكنها أيضا تســتمد الطاقــةَ من الموجــات الراديوية التي تُصْدِرها **قارئاتُ شــيپيَّة للتعريف بالهويــة** ID chip readers، ذاتُ تردُّدات راديويــة طويلة المدى. يقول <ســميث> إن قارئة واحدة موصولة إلى قابــس جداري يمكنهــا بالفعل أن تغذّي وأن تتواصل مع شبكة من النماذج الأولية للمنصات WISPs تقع على بُعد 5 إلى 10 أقدام – ولكن هذه المسافة يتعيَّن زيادتها.

ويورد <سميث> عددا من إمكانات البنيــة التحتيــة نفســها كتلــك التي أوردتها الشــركة HP، إلى جانب عدد من الاستعمالات الأخرى. ومنها أنه لو وُضعت المنصــات WISPs على أدوات منزلية عادية كالأكواب والكؤوس، لأدّت هذه «العلامات» دورَ المشــعِر للأطباء عن مــدى التقدُّم الحاصل في عمليات إعــادة تأهيــل المصابين بالســكتات الدماغية مثلا. فإذا بقيت الأكوابُ التي يســتعملها المريض عــادة ثــابتــة لا تتحــرك، دلَّ ذلك علــى أن المريض مازال عاجزا عن مغادرة سريره.

والتطبيقــاتُ المكنةُ للاستشــعار الشـــامــل واسعةٌ جــدا إلى درجــة حملت <ســميث> على القول باستحالة التنبُّــؤ بهــا جميعــا، كما هــو الحال في الإنترنــت – فقد استشــاره أحد الفيزيائيين حديثا عن استعمال المنصات WISPs لمراقبــة درجة الحــرارة خارج مكشــاف النيوترينو المقتــرَح – وتعقِّب الشــركة HP قائلة: «فيما يخص الآثار المنتظَرة لهذا الاستشــعار في حياتنا، فإنك لم تشهد شيئا منها بَعْدُ.»

---

(١) مزرعة المخدِّمات server farm: مجموعة من المخدِّمات الحاسوبية تؤلِّف شبكة تلبّي الاحتياجات التي يتعذَّر علــى مخدِّم واحد تقديمها. وغالبــا ما تكون مزوَّدة بمخدِّمــات احتياطية داعِمة تؤدّي عمــل المخدِّمات الأساســية في حــال تعطُّلها. وفي الــوب يمكن أن تكــون المزرعــةُ موقعا له أكثر من مخــدِّم، أو مزوِّدَ خدمة إنترنت.

(٢) Nintendo Wii: الاســم التجاري لآلة ألعاب ڤيديوية، موصولــة بشاشــة تلفزيون أو مرقاب (نســبة إلى صانع الآلة).

(٣) Wireless Indentification and Sensing Platform

(التحرير)



الإنسالة التي تعمل كل شيء(*)

إن حاسوبك الشخصي قادر على أداء أية مهمة حاسوبية تطلبها منه. فلماذا لا يصحُّ الأمرُ نفسهُ على الإنسالات[1]؟

<G. مون>

صار من الثابت أنَّ الإنسالاتِ وسائلُ عظيمةُ النفع للجنود في الميدان، وللجرّاحين في المستشفيات، وحتى لربّات البيوت الحريصات على نظافة سجاد منازلهن. والإنسالاتُ تصمم في كلِّ حالة وتبنى لتنفيذ عمل معيّن بالضبط. ولكنَّ التوجّه اليوم يذهب إلى بناء آلات متعدِّدة الأغراض – إنسالات قادرة على التكيُّف مع بيئات متغيِّرة كالمكاتب وغرف المعيشة والعمل بالأيدي.

على أن الإنسالات لجميع الأغراض ليست في حدِّ ذاتها فكرة حديثة؛ «فما تحقَّق منها في السنوات الخمس أو العشر الأخيرة قد يعادل ما تحقَّق على مدى نحو خمسين سنة»، حسبما يقول <E. بيرگر> [المدير المساعد لبرنامج الإنسالات الشخصية في شركة ويلو گاراگ الناشئة في سيليكون ڤالي]. ويعود التأخير في جزء منه إلى أنَّ تنفيذ الأعمال، حتى البسيطة منها، يتطلَّب إمكانات كبيرة. ولكي تستطيع إنسالةٌ جلبَ كأس مثلا، تحتاج إلى إدراك معنى البيانات التي تجمعها محسات متنوعة – من ماسحات ليزرية تستكشف العوائقَ المحتملة، وآلات تصوير تبحث عن الهدف المقصود، وتغذية الأصابع بالقوة اللازمة لتقبض على الكأس، وغير ذلك. ومع هذا؛ فإن <بيرگر> وسواه من الخبراء واثقون من أن تقدُّما حقيقيا في هذا المضمار سيَحدث في العقد القادم.

وترى شركة ويلو گاراگ أن المشكلة الأساسية تتمثَّل بعدم وجود منصَّة لكل ذلك الجهد الحاسوبي. فبدلا من البناء على إمكانات آلة واحدة باعتبارها أساسا مشتركا، تنفرد كلُّ جهة بتصميم إنسالاتها الخاصة، وبرمجيات التحكم فيها من نقطة الصفر. وفي محاولة لتغيير هذا الواقع، تقوم شركةُ ويلو گاراگ حاليا بإنتاج 25 نسخة من نموذجها الثاني من **الإنسالات الشخصية (PR2)**[2]، وهو آلةٌ ذات عجلات وذراعين، يمكنها أن تفصل جهازا كهربائيا عن مقبسه، وأن تفتح الأبواب، وأن تتجول في غرفة. ويُزمَع إبقاء عشر من تلك الإنسالات داخل البيوت والمؤسسات، ولكنَّ عشرا أخرى ستُنقل إلى جهات بحث خارجية، وسيتاح لكلِّ واحد فرصةُ الإسهام في تطويرها. وهكذا، كما يقول <بيرگر>، إذا رغبتَ في استحداث مكافئ إنساليّ للموقع Twitter مثلا، لا يتعيَّن عليك البدء بإنشاء حاسوب من أوله، بل «إنك تلتفت إلى إنشاء ما هو جديد فيه.»

مترجم الجيب(**)

بحكم نقص اللغويِّين المتخصِّصين فيه، يقوم الجيش بتصنيع أدوات تعتمد على الهاتف الذكي لأداء مهام هؤلاء.

<G. مون>

منذ عهد قريب كشفت شركةُ البرمجيات صخر، التي تصنع أجهزة للترجمة اللغوية الآلية، عن نموذج أوَّلي لتطبيق الهاتف الذكي يسمح بتحويل جمل منطوقة باللغة الإنكليزية إلى أخرى منطوقة بالعربية المَحكيَّة (العامية)، والعكس بالعكس، وذلك في **الزمن الحقيقي**[3] تقريبا. ومع أن هذه التقانة ليست جاهزة تماما لاستعمالها في رحلتك القادمة إلى القاهرة، إلا أنها – وبفضل التقدُّم الحاصل في تقنيات الترجمة الآلية، وظهور مُجْهِرات صوت عالية الدقة، وازدياد قدرة المعالجة في أجهزة الهواتف الذكية – قد تتيح عمّا قريب لشخصَيْن ناطقَيْن بلسانَيْن مختلفَيْن أن يُجريا محادثات بسيطة.

لقد كانت الترجمةُ الآلية، قبل تسعينات القرن الماضي، تعني البرمجة ضمن قائمة لا تكاد تنتهي من القواعد اللغوية، وهي تقانة مضنية احتاجت إلى عمل مكثف جدا،

(*) The Do-Anything Robot
(**) Pocket Translator
(١) ج: **إنسالة** robot وهذه نحت من إنسان–آلي.
(٢) Personal Robot 2
(٣) real time أو الزمن الفعلي.

ولم تكن على درجة كافية من الدقة. أما اليوم، فالبرامجُ الرائدةُ - التي طورَّتها الشركات: تقانات BBN و IBM وصخر وغيرها في إطار مساعي وكالة مشروعات الأبحاث الدفاعية المتقدمة للتخلص من حاجة العسكريين إلى مترجمين بَشَر - تعتمد بدلا من ذلك على تقنيات التعلّم الآلي. فتعمل البرمجياتُ انطلاقا من قاعدة بيانات لنصوص متقابلة - مثلا: «رواية الحرب والسلام» بلغتين مختلفتين، وخُطَب هيئة الأمم المتحدة المترجَمة، ووثائق مستلَّة من الوب. فالخوارزمياتُ تُحدّد جملا قصيرة متوائمة تؤخذ من المصادر، وتستعملها البرمجياتُ لبناء نماذج إحصائية تربط جملا إنكليزية بمقابلات لها عربية.

ويقول <J. ماخول> [كبير علماء شركة BBN] إنَّ التقانة الحالية تكون في أفضل حالاتها إذا اقتصرت على مجالات موضوعية محدّدة العبارات والمصطلحات - كترجمة نشرة أرصاد جوّية من الإنكليزية إلى الفرنسية، أو مساعدة جنود على جمع معلومات أساسية خاصة بالسير الذاتية من أفراد في الميدان. ويتصوَّر <ماخول> أنَّ أولى التطبيقات الاستهلاكية، المرجوَّة بعد خمس سنوات من الآن، ستكون مقيَّدة على نحو مشابه؛ فتطبيق ترجمة متعلقة بالسياحة على هاتف ذكي قد يساعد شخصا أمريكيا موجودا في فلورنسا على الاستعلام عن الاتجاهات من مواطن محلّي غير ناطق بالإنكليزية، لكنهما بطبيعة الحال لن يتبادلا الحديث عن الفن في عصر النهضة. ويتابع: «صحيحٌ أنه لا يُنتَظَر من هذه التقانة أن تكون مثالية، غير أنها ستؤدي عملا مرضيا لا بأس به.»

صحة وطب

اعرف إن كان المرض ينمو في جسدك(*)

لللأمراض المعقدة أسباب معقدة. ولحسن الحظ، فهي تترك الكثير من الآثار التي تدل عليها.

<M. وينر>

باستثناء بعض الأمراض المعدية، فإن عددا قليلا من الأمراض التي تصيب الإنسان لها أدوية شافية. فمثلا، على الرغم من أن الأطباء يجرون أكثر من 250 000 عملية جراحية **لمجازات إكليلية**(1) كل عام، فإن أمراض القلب لا تزال القاتل الأول في أمريكا.

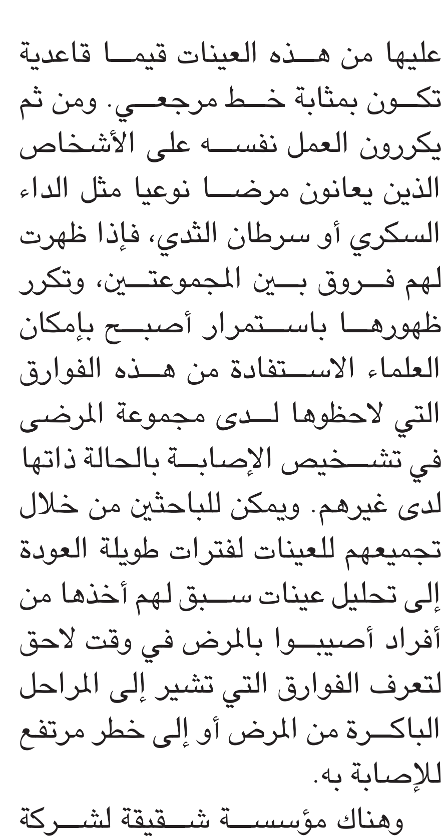
وأكثر الأمراض صعوبة على الشفاء هي الأمراض التي تأخذ أطول الأوقات حتى تتطور. فهي النتيجة النهائية لعقود عديدة من التفاعلات الجزيئية التبادلية المعقدة داخل الجسد. إلاّ أن هذا التعقيد يمثل أيضا فرصة سانحة يجب اغتنامها. فقد اكتشف العلماء أن هذه التفاعلات المعقدة تترك بصمات يمكن اكتشافها في الجسم. فبتحليل الإشارات الجزيئية المعقدة، وهي تغيرات في بروتينات الجسم تصيب الأحماض النووية والمستقلبات، ويطلق عليها على وجه الإجمال اسم **الواسمات البيولوجية** biomarkers، يأمل الأطباء بأن يتمكنوا قريبا من اكتشاف الأمراض، وليس هذا فحسب، بل بأن يتنبؤوا بحدوث المرض القادم في الوقت المناسب لاتخاذ الإجراءات اللازمة لمواجهته.

والواسمات البيولوجية أمر ليس بالجديد. فمنذ عام 1986 والأطباء يرصدون سرطان البروستاته (الموثة) عن طريق قياس مستوى أحد بروتينات الدم الذي يعرف باسم **المستضد النوعي للبروستاته** (PSA)(2)، إلا أن الاختبارات التي تستند إلى واحدة فقط من الواسمات البيولوجية لكشف المرض نادرة، لأن معظم الأمراض تشتمل على تغيرات معقدة في مجموعة من الواسمات البيولوجية.

لنأخذ الفصام مثالا على ذلك: ففي الشهر 2010/1 أطلق العلماء اختبارا يعتمد على الواسمات البيولوجية يمكنه تمييز الفصام من الاضطرابات النفسية الأخرى. وسيقوم بتسويق هذا الاختبار مختبر **الطب المسند بالقواعد**(3) في مدينة «أوستن»، وهو يستند في اختباراته إلى الصفات المميزة لما يقرب من أربعين من بروتينات الدم.

ولكي يكتشف الباحثون واسمات بيولوجية يحتمل أن تكون ذات فائدة في هذا المضمار، فإنهم يجمعون عينات من آلاف الأشخاص الأصحاء ويحللونها ويتخذون من مستويات الواسمات البيولوجية التي يحصلون

(*) Know if Disease Grows Inside You
(1) coronary bypass
(2) prostate-specific antigen
(3) Rules-Based Medicine



عليها من هذه العينات قيما قاعدية تكون بمثابة خط مرجعي. ومن ثم يكررون العمل نفسه على الأشخاص الذين يعانون مرضا نوعيا مثل الداء السكري أو سرطان الثدي، فإذا ظهرت لهم فروق بين المجموعتين، وتكرر ظهورها باستمرار أصبح بإمكان العلماء الاستفادة من هذه الفوارق التي لاحظوها لدى مجموعة المرضى في تشخيص الإصابة بالحالة ذاتها لدى غيرهم. ويمكن للباحثين من خلال تجميعهم للعينات لفترات طويلة العودة إلى تحليل عينات سبق لهم أخذها من أفراد أصيبوا بالمرض في وقت لاحق لتعرف الفوارق التي تشير إلى المراحل الباكرة من المرض أو إلى خطر مرتفع للإصابة به.

وهناك مؤسسة شقيقة لشركة الطب المسند بالقواعد تدعى **الشركة البيولوجية الفيزيائية**[1]، وهي واحدة من شركات عديدة قامت بتطوير اختبارات تستند إلى كشف واسمات بيولوجية في الدم وتسويقها لعامة الناس. وتبحث هذه الشركة عمّا يقرب من 250 من الواسمات البيولوجية التي تشير إلى الإصابة بالسرطان أو الحالات الالتهابية أو أمراض القلب وغيرها من الأمراض. ويقول <M. شندلر> [المدير التنفيذي للشركة البيولوجية الفيزيائية] إن القيمة الحقيقية لهذه الاختبارات تكمن في المراقبة الطويلة الأمد، إذ سيكون بإمكان أي شخص أن يجري اختبارا شهريا للكشف عن أي تغير خطير في النتيجة يوحي الإصابة بمرحلة باكرة من السرطان.

لا يتفق جميع الخبراء على أن عهد الواسمات البيولوجية صار وشيكا. فالاستشارية المستقلة في الشؤون الصيدلانية بالمملكة المتحدة ومحررة تقرير تبصرات تجارية عام 2006، الذي يدور حول سوق الواسمات البيولوجية <Ch. بارتون> تقول: «سأظل متشككة قليلا في مدى الفائدة السريرية التي تعود بها هذه الواسمات البيولوجية». كما وجدت دراسة شملت 5000 شخص ونُشرت في مجلة الجمعية الطبية الأمريكية في الشهر 2009/7، أن ستا من الواسمات البيولوجية لأمراض القلب لم تكن أفضل من حيث توقع حدوث مرض القلب من عوامل الخطر المعيارية، كأن يكون الشخص من المدخنين أو السكريين، إلا بمقدار هامشي.

يضاف إلى ما سبق ذكره من الصعوبات أن الشخص قد يعاني مرضين أو أكثر، مثل سرطان الرئة ومرض القلب. ولا يعلم أحد كيف يمكن للأمراض المتعددة أن تؤثر في مجمل ما للواسمات من نتائج، أو لمعرفة كيف ستتغير النتائج مع تطور الأمراض الأخرى. وتقول <شندلر>: «عندما نبلغ سن الخامسة والستين أو السبعين، فإن الجميع ستكون لديهم حالات مرضية متعددة، ولا نعرف في الوقت الحاضر كيف نتعامل مع هذا الوضع». وما زال على العلماء أن يقرروا أي الواسمات البيولوجية هي التي لها علاقة حقيقية بالمرض، فتلك مهمة صعبة عندما يتعاملون مع الدم الذي يتضمن عشرات الآلاف من البروتينات بتركيزات قد تبلغ عشرة أضعاف التراكيز المعتادة.

وقد قامت بعض الشركات بتبسيط المشكلة عن طريق تجنب الدم كليا. فقد قامت شركة Lab Corp مؤخرا بتسويق اختبار للواسمات البيولوجية يعتمد على تحليل الخلايا القولونية في البراز بحثا عن التبدلات الكيميائية التي تشير إلى الإصابة بسرطان القولون. ويقول <B. بيرگر> [رئيس الأطباء في شركة العلوم الدقيقة Exact

(۱) Biophysical Corporation

Sciences، وهي شركة للتقانات البيولوجية في ماديسون – ويسكونسون، قامت بتطوير هذا الاختبار]: «إن البراز على تماس وثيق مع بطانة القولون، لذلك فإنه يحوي كمية من هذه الجزيئات النادرة تزيد كثيرا على ما يصل منها إلى تيار الدم.»

وفي الوقت نفسه، فإن العلماء على ثقة من أنهم سيتمكنون في نهاية الأمر من حل المشكلة الأكثر صعوبة، وهي تمييز التبدلات التي تعتبر واسمة لأحد الأمراض من غيرها من التبدلات. ويقول <بيرگر> في ذلك: «إن العملية التطورية التي تتسم بالتعقيد والغموض لا ترسم لنا دائما طريقا سهلة، إلاّ أنها تمنحنا في نهاية المطاف الكثير من الفرص.»

صحة وطب

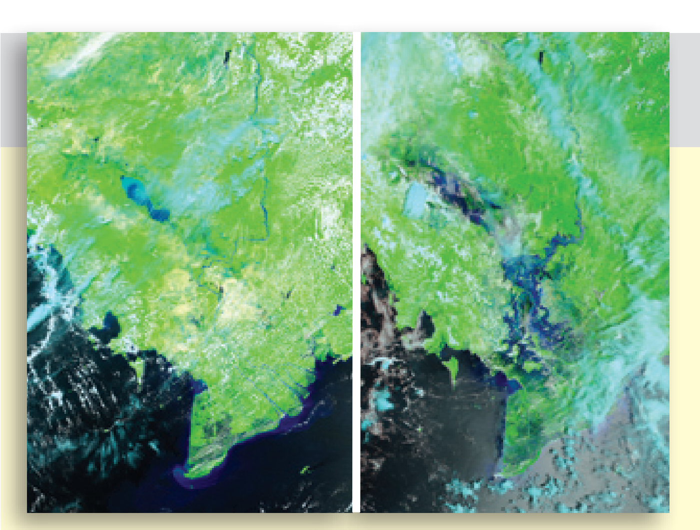
الأقمار الصنعية (السواتل) تشخص فاشيات الأمراض(*)

تساعد البيانات المستمدة من الفضاء على تعقب انتشار الأمراض المميتة وعلى التنبؤ بحدوثها.

<K. هارمون>

ينتشر كثير من الأمراض المعدية (السارية) عبر بعض النواقل مثل الطيور والبعوض، وتتحرك هذه النواقل مع تغيرات درجة الحرارة وهطل الأمطار. وقد أدرك الباحثون ذلك وبدؤوا باستخدام البيانات التي توفرها الأقمار الصنعية لرصد الأحوال البيئية التي تؤدي إلى حدوث الأمراض. وعلى حدّ قول <T. فورد> [من جامعة نيوإنگلاند في بدفورد، وهو مؤلف مشارك في بحث تناول هذا الموضوع ونشر في عدد الشهر 2009/9 من «*مجلة الأمراض المعدية المستجدة*»]: «مثاليا، يمكننا التنبؤ بالأحوال التي قد تؤدي إلى حدوث الفاشيات الكبيرة من الكوليرا أو الملاريا وحتى إنفلونزا الطيور.»

تستخدم البيانات التي تقدمها الأقمار الصنعية فعليا لرسم خرائط توضح تقدم ڤيروس إنفلونزا الطيور H5NI في آسيا. فالبط الداجن الذي ينتشر في حقول الرز في جنوب شرق آسيا هو أحد أهم نواقل المرض. وقد استخدم <X. زياو> [مساعد مدير التحليل الفضائي في جامعة أوكلاهوما] الصور التي تبثها الأقمار الصنعية لرسم خرائط للأنماط الزراعية في المنطقة، وقد أوضحت هذه الخرائط الأمكنة التي يغلب للبط أن يعيش فيها، ومن ثَمّ الأمكنة التي يغلب لإنفلونزا الطيور أن تنتشر فيها.



نذير رديء : تغيرات بيئية كطوفان (*إلى اليمين*) على دلتا ميكونگ في ڤيتنام قد تحمل موجات من الأمراض.

تحمل الطيور المهاجرة أيضا الڤيروسات، إلا أن توقع أنماط سفرها أكثر صعوبة. وقد جمع <زياو> ورفاقه بين التصوير بالأقمار الصنعية وبين البيانات التي قدمتها الأقمار حول درجة الحرارة على سطح الأرض لتعرف المسار الذي تتبعه الطيور، ومن ثَمّ المسار الذي تتبعه الڤيروسات. وتربط النماذج الحاسوبية بعد ذلك هذه العوامل البيئية وانتشار الإنفلونزا عند الإنسان.

وبطبيعة الحال، لا يمكن إسناد هذه الجهود جميعها إلى مراصد المدارات. ويقول <زياو> إن إطلاق حكم حول شدة انتشار إنفلونزا الطيور اعتمادا على التصوير بالأقمار الصنعية يتطلب معرفة التفاصيل الخاصة بسكان المنطقة، ومنها على سبيل المثال، مدى قيام بعض المجتمعات بتربية البط بقصد استهلاك لحومها. ويقول <زياو>: «يستطيع الرصد بالأقمار الصنعية القيام بالمراقبة المستمرة، ولكن للمراقبة في الموقع من ناحية أخرى أهمية بالغة، لذا فإن الحل يتمثل بالجمع بين هذين الأمرين معا، وهذا هو التحدي الحقيقي.»

(*) Satellites Diagnose Disease Outbreaks

أفكار مرتقبة

<M. وينر>

خثرات سريعة

يمكن لتقنيي الطوارئ اتقاء ما يصل إلى 35% من الوفيات الناجمة عن **الرضوح**[(١)] قبل أن يصل المصابون بها إلى المستشفيات، وذلك إذا كان لديهم طرق أفضل وأرخص تمنع فقدان الدم. بُدئ العمل مؤخرا في جامعة ميريلاند بمشروع تعاوني أطلق عليه اسم **الحلول الخاصة بالرضوح**[(٢)]، وتم فيه ابتكار هلام مائي اصطناعي يمكنه تخثير الدم عن طريق حث الجسم على تكوين الفيبرين، وهو بروتين يغلق الجروح ويوقف النزف. ويمكن للتفاعلات المستقبلية أن تطلق في آن معا مثل هذه الأدوية كمضادات حيوية ومسكنات الألم. وسيكلف ذلك في كل مرة خمسة دولارات أمريكية مقارنة بالمواد الطبيعية المخثرة للدم التي تصل تكلفتها إلى خمسين دولارا أمريكيا.

مختبر بحجم طابع البريد

يعتبر تخرب الكبد من التأثيرات الجانبية الرئيسية للأدوية التي تستخدم في معالجة السل والإيدز والعدوى بفيروسه. ومع ذلك، لا يمتلك سوى عدد ضئيل من البلدان النامية العدد الكافي من العلماء المدربين أو المعدات اللازمة لرصد تخرب الكبد. وقد طورت شركة غير ربحية في كامبريدج، ماساشوستس تدعى **أدوات التشخيص للجميع**[(٣)] أداة رخيصة الثمن بحجم ظفر الإصبع، مصنوعة من الورق بشكل كامل تقريبا، يمكنها رصد التخرب الكبدي باستخدام قطرة واحدة من الدم، إذ تقود قنوات دقيقة في هذا الورق الدم إلى مناطق يتغير فيها لونها وفقا لمستوى إنزيمين لهما صلة وثيقة بتخرب الكبد.

معجون أسنان من البكتيريا

تسبب بكتيرات ***المكورات العقدية الطافرة*** *streptococcus mutans* الموجودة في الفم نخر الأسنان وذلك عن طريق تحويل السكريات إلى حمض اللبن الذي يعمل على تآكل الميناء. وقد قامت شركة oragenics في فلوريدا باستخدام الهندسة الجينية للحصول على ذرية جديدة من هذه البكتيرات تحول السكريات إلى كمية ضئيلة من الكحول بدلا من حمض اللبن. ولما كانت هذه البكتيرات الجديدة ستزيح *المكورات العقدية الطافرة* الطبيعية من الفم وتحل محلها، فإن هذه المعالجة تخضع حاليا لتجارب سريرية وستكون متاحة على شكل وصفة تُعطى مرة واحدة، ولكنها تقي الأسنان طيلة الحياة.

---

(١) trauma

(٢) Trauma Solutions

(٣) Diagnostics For All

مراجع للاستزادة

Energy طاقة

The Borrower's Guide to Financing Solar Energy Systems: A Federal Overview. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory. http://tinyurl.com/borrowedsolar

TRANSPORTATION نَقل

Plug-In America: www.pluginamerica.org

ENVIRONMENT بيئة

The Marine Conservation Biology Institute: www.mcbi.org

ELECTRONICS AND ROBOTICS إلكترونيات وإنساليّات

Building a Sensor-Rich World. Special issue of IEEE Pervasive Computing, Vol. 6, No. 2; April-June 2007.

HEALTH AND MEDICINE صحة وطب

Cancer Biomarkers—An Invitation to the Table. William S. Dalton and Stephen H. Friend in Science, Vol. 312, pages 1165–1168; May 26, 2006.

Scientific American, December 2009

تتمة الصفحة 59 (حبات إنسالية (روبوتية))
يوضع قرب البطن الكبسولة للأمام، وعندما تصل الكبسولة إلى قطعة من الأمعاء قد انخمصت جدرانها فإنها ترفع النسج ببسط أرجلها، مما يحرِّك الكبسولة للأمام قليلا خلال الفتحة.

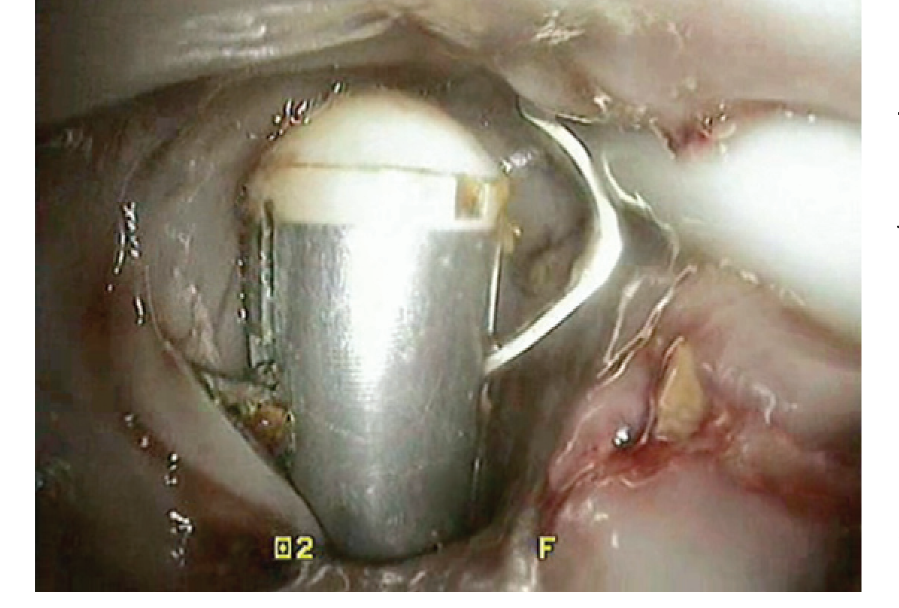
وفي معظم مناطق الأمعاء الدقيقة والغليظة، سيقدِّم نظام الحركة الهجين التحكُّم الذي يحتاج إليه الأطباء للتفتيش البصري الشامل. ونظرا لأن المواقف المختلفة تستدعي حلولا مختلفة، فقد طور المشروع ڤيكتور مثلا ثلاثة مفاهيم للكبسولات المخصصة للأمعاء الدقيقة وحدها: المفهوم الأول كاميرة حبية لافاعلة للتحري المعتاد، والمفهوم الثاني كبسولة تشخيصية تتمتع بحركة فاعلة وبالتصوير الطيفي الذي يستطيع اكتشاف أي شذوذات موجودة تحت سطح النسيج، وفي المفهوم الثالث تم إدماج مستقبل الاستشعار الطيفي المذكور سابقا ذاته ضمن الكبسولة ڤيكتور، ليصبح بإمكانها أيضا أن تحمل أداة لأخذ خزعة، وأن تأخذ عينة من النسيج تختزنها داخلها، لاسترجاعها عند خروجها من جسم المريض.

إن قدرة إنسالات التنظير الكبسولية على أخذ الخزعات وعلى إجراء الإجراءات العلاجية الأخرى المعقدة، مثل الإجراءات الجراحية، قد تجعل منها أدوات طبية أكثر قوة، غير أن المشكلات الجوهرية مثل الإمداد بالطاقة، والقيود التي يفرضها الحيِّز المتاح، وعزم الدوران المحدود، تجعل العديد من المهام العلاجية الطموحة التي تتطلب حركات معقدة كما تتطلب العديد من أدوات التنشيط، أمرا يستحيل تحقيقه بحبة واحدة لايزيد حجمها على 2 سنتيمتر مكعب فقط.

ولهذه الأسباب، نعمل الآن على مفهوم متطور، وهو إنسالات جراحية تعمل على تشكيل نفسها داخل الجسم. وهنا نسوق إليكم الكيفية التي يمكن أن تعمل بها: سيكون على المريض أن يشرب سائلا يمدِّد المعدة، ثم يبتلع عددا من الكبسولات يتراوح بين 10 و 15 كبسولة، وستكون كل كبسولة بمنزلة أحد المكوِّنات المُنَمْنَمَة، وسيكون لها مغنطيسان على طرفيها. وما أن تدخل الكبسولاتُ إلى المَعِدَة حتى يتجمَّع بعضها مع بعض سريعا بالشكل الذي يُراد لها تكوينه، بالتوجيه من بُعد. وسيكون على الجرّاح أن يستخدم تلك الإنسالات المُجَمَّعة كأداة لاسلكية يمكنها إنجاز الجراحة دون حاجة إلى شق جُرح واحد من خارج الجسم. وعندما تستكمل الجراحة، سيكون من الممكن إعادة تشكيل الروابط المغنطيسية أو كسرها بما يسمح للكبسولات الأجزاء أن تخرج عن طريق السبيل الهضمي من دون إحداث أي ضرر.

ولدينا كبسولات أولية مُبَكِّرة، حجم كل منها 2 سنتيمتر، ولها أدوات تنشيط وأجزاء داخلية يمكن تعديلها لتلائم الاحتياجات، فقد تُزَوَّد كبسولة أو أكثر بكاميرة، وقد تحمل كبسولة أخرى على متنها أدوات، ويمكن التحكم فيها جميعها لاسلكيا.

وقد تجد المكونات الإنسالية المُنَمْنَمَة في نهاية الأمر استخدامات أوسع ضمن شتى أنحاء الجسم ولأغراض متنوعة، فنظم التوجيه والكاميرات الخاصة بمستقبلات الاستشعار التي تم تطويرها من أجل التنظير الكبسولي تؤثر حاليا في التقانات الطبية البيولوجية المرتبطة بها، مثل الإصدارات الحديثة من المناظير وآلات الجراحة التنظيرية للبطن. وبعيدا عن الرعاية الصحية، فإن هذه التقانات هي جزء من توجُّه أوسع نطاقا نحو الإنسالية التي تتسم بالنَّمْنَمَة، وبتعدُّد الاستخدامات والتوجيه اللاسلكي، فالإنسالات الكبسولية لها من دون شك تأثير في الآلات الإنسالية في عالم الأشياء الأكبر حجما. ■



كبسولة هجينة يتم توجيهها عن طريق مغانط خارجية تبحر في قولون خنزير وتستخدم أرجلا قابلة للتمدد لتعديل موقعها ولتزيح النسج جانبا.

مراجع للاستزادة

Wireless Capsule Endoscopy: From Diagnostic Devices to Multipurpose Robotic Systems. Andrea Moglia, Arianna Menciassi, Marc Oliver Schurr and Paolo Dario in *Biomedical Microdevices,* Vol. 9, No. 2, pages 235–243; December 12, 2006.

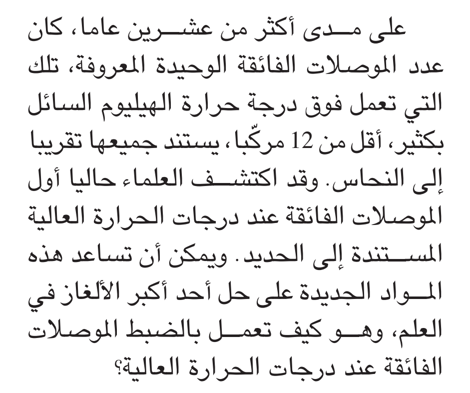
Wireless Therapeutic Endoscopic Capsule: In Vivo Experiment. P. Valdastri et al. in *Endoscopy 2008,* Vol. 40, No. 12, pages 979–982; December 2008.

Wireless Reconfigurable Modules for Robotic Endoluminal Surgery. Kanako Harada, Ekawahyu Susilo, Arianna Menciassi and Paolo Dario in *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation.* Kobe, Japan, May 2009.

Scientific American, August 2010

عصر جديد للحديد(*)

*موصل فائق عند **درجة الحرارة العالية**(1) مستند إلى الحديد.*



على مدى أكثر من عشرين عاما، كان عدد الموصلات الفائقة الوحيدة المعروفة، تلك التي تعمل فوق درجة حرارة الهيليوم السائل بكثير، أقل من 12 مركّبا، يستند جميعها تقريبا إلى النحاس. وقد اكتشف العلماء حاليا أول الموصلات الفائقة عند درجات الحرارة العالية المستندة إلى الحديد. ويمكن أن تساعد هذه المواد الجديدة على حل أحد أكبر الألغاز في العلم، وهو كيف تعمل بالضبط الموصلات الفائقة عند درجات الحرارة العالية؟

يجري التيار الكهربائي في الموصلات الفائقة من دون أية مقاومة. ولعقود من الزمن، اعتُقد أن هذه الظاهرة تحصل فقط قريبا من درجة حرارة **الصفر المطلق**(2). فالبرودة تهدئ اهتزازات الذرات، وهذا يحوّل المادة بطريقة ما بحيث يمكن للإلكترونات أن تتغلب على قواها التنافرية الطبيعية فيما بينها. وتسبب الاهتزازات المعدّلة، المسماة **فونونات** phonons، تزاوج الإلكترونات، بحيث تتحرك هذه الأزواج بحرية خلال **الشبيكة الذرية**(3).

ولكن، منذ عام 1986، ابتدأ الفيزيائيون يكتشفون صنفا جديدا من الموصلات الفائقة تعمل عند درجات حرارة أعلى كثيرا من الصفر المطلق، حتى درجات حرارة تصل إلى 160 كلفن (أي -113 درجة سيلزية). تتألف هذه المواد، المسماة **نحاسات** cuprates، من طبقات من أكسيد النحاس **مقحمة**(4) بين مواد أخرى. يتداخل تركيب النحاسات ودرجة الحرارة العالية مع الآليات التي تجعل الموصلات الفائقة التقليدية تعمل، مما يدفع الفيزيائيين إلى أن يحاولوا التوصل إلى تفسيرات جديدة.

واليوم يضطر الباحثون، بسبب اكتشاف مؤاتٍ حدث مصادفة، إلى توسيع أفكارهم حول الموصلية الفائقة. فقد كان عالِم المواد الشفافة <H. هوسونو> [من معهد طوكيو للتقانة] وزملاؤه يتطلعون إلى تطوير أداء أكاسيد المواد الشفافة شبه الموصلة، ولكنهم انتهوا إلى اكتشاف أول موصل فائق عند درجات الحرارة العالية مستند إلى الحديد.

إن المادة البلورية التي يُرمز إليها كيميائيا بالرمز LaOFeAs هي طبقات متراصة من الحديد و**الزرنيخ**(5)، حيث تجري الإلكترونات بين مستويات اللانثانوم والأكسجين. وقد أدت الاستعاضة عن نسبة تصل إلى 11 في المئة من الأكسجين بالفلور إلى تحسين المركب، فأصبح موصلا فائقا عند درجة الحرارة 26 كلفن، وذلك وفق تقرير الفريق بتاريخ 2008/3/19 المنشور في ***مجلة الجمعية الكيميائية الأمريكية***(6). وتقترح الأبحاث اللاحقة التي أجرتها مجموعات أخرى، أن الاستعاضة عن اللانثانوم في المادة LaOFeAs بعناصر الأتربة النادرة الأخرى، مثل السيريوم والساماريوم والنيوديميوم والبراسيوديميوم، تؤدي إلى موصلات فائقة تعمل عند الدرجة 52 كلفن.

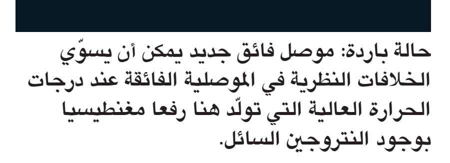
وقد فاجأت الموصلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية في مركّبات الحديد هذه ذات الطبقات، الباحثين تماما الذين اعتقدوا أن الطبيعة المغنطيسية للحديد سوف تعطل تزاوج الإلكترونات. وربما كانت الإلكترونات، كما يبدو أن الأمر كذلك في حالة النحاسات، تتزاوج بمساعدة **التأرجحات السپينية**(7) في الحقول المغنطيسية للذرات التي تتشكل الموصل الفائق. ويقول الفيزيائي <K. هاوول> [من جامعة روتگرز]: «إن بإمكان هذه الموصلات الفائقة المستندة إلى الحديد إعطاءنا إشارات جديدة عن كيفية فهم النحاسات.»

ومن ناحية أخرى، فإن التأرجحات السپينية التي يمكن أن تلصق إلكترونات النحاسات ببعضها ربما لا تكون كافية لتلك الموجودة في المواد المستندة إلى الحديد. وبدلا من ذلك، فإن **التأرجحات المدارية**(8) - أو التغيرات في مواقع الإلكترونات حول الذرات - قد تكون حاسمة أيضا، كما يتوقع الباحث <هاوول>. ومن حيث الجوهر، فإن المواد المستندة إلى الحديد تعطي للإلكترونات حرية أكبر مما تعطيه النحاسات عندما يتعلق الأمر بكيفية دوران الإلكترونات حول الذرات.

يمكن أن تقوم التأرجحات المدارية بأدوار مهمة أيضا في مواد أخرى فائقة الموصلية غير معتادة، مثل تلك المستندة إلى اليورانيوم أو الكوبالت والتي تعمل عند درجات أقرب إلى الصفر المطلق، بحسب حدس <هاوول>. ولما كانت الموصلات الفائقة المستندة إلى الحديد تعمل عند درجات حرارة أعلى، فإن البحث في مثل هذه التأرجحات قد يكون أسهل.

ويلاحظ الفيزيائي النظري <D. پاينز> [من جامعة كاليفورنيا، وهو أيضا المدير المؤسس **لمعهد المادة التكيفية المركبة**(9)] أن الاكتشاف، إضافة إلى أنه يوضح الأسس النظرية للموصلية الفائقة، «يجعلنا نتساءل عما إذا كانت هناك موصلات فائقة أخرى عند درجات الحرارة العالية لم نجدها بعد في أمكنة غير متوقعة، حتى ولو كانت هناك درجات حرارة أعلى يمكن أن تعمل عندها.» ويعتقد <هاوول> أنه في محاولة رفع **درجة الحرارة الحرجة**(10)، يُفترض أن لا تركز التجارب فقط على الاستعاضة عن العناصر بأخرى، وإنما أيضا على جعل المركبات بشكل طبقات. فهذا، ينبغي أن يحسّن المركبات كما هي الحالة بالضبط بالنسبة إلى النحاسات الفائقة الموصلية.

وكون هذه المواد مستندة إلى الحديد، فإنه يمكن أن يجعلها أيضا أكثر جاذبية تجاريا. إن هشاشة النحاسات، التي هي خزف **قصف** brittle جدا، قد أعاقت طويلا التطبيقات، مثل خطوط نقل الكهرباء الفائقة الموصلية. فإذا كان التعامل مع المواد المستندة إلى الحديد وتصنيعها أسهل من تلك المستندة إلى النحاس؛ «فسوف تصبح هذه المواد مهمة جدا،» يضيف <هاوول>. ■



حالة باردة: موصل فائق جديد يمكن أن يسوّي الخلافات النظرية في الموصلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية التي تولّد هنا رفعا مغنطيسيا بوجود النتروجين السائل.

<Ch. Q. كواي>، مساهم دائم مستقر في مدينة نيويورك.

(*) A NEW IRON AGE
(1) high-temperature superconductor
(2) absolute zero
(3) the atomic lattice
(4) sandwiched
(5) arsenic
(6) Journal of the American Chemical Society
(7) spin fluctuations
(8) orbital fluctuations
(9) the Institute for complex adaptive matter
(10) the critical temperature

كَشّاف موضوعات مجلة العلوم
2010

نورد في هذا الكشاف المقالات التي نشرت في العلوم عام 2010 (المجلد 26)، ونضع إلى يسار عنوان كل مقالة (*رقم العدد - رقم الصفحة*).
وقد تم ترتيب هذه المقالات *ألفبائيا* ضمن تخصصاتها المعروضة في الإطار أدناه مرتبة *ألفبائيا* أيضا بعد إهمال «أل» التعريف وكلمة «عِلْم» ومشتقاتها:


Majallat AlOloom November / December - 2010 Volume 26 Number 11/12 SCIENTIFIC AMERICAN

SCIENTIFIC AMERICAN®
Established 1845

EDITOR IN CHIEF: Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR: Ricki L. Rusting
CHIEF NEWS EDITOR: Philip M. Yam
SEnIor writeR: Gary Stix
EDITORS: Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson

ASSOCIATE EDITORS, ONLINE: David Biello, Larry Greenemeier
NEWS REPORTER, ONLINE: John Matson
ART DIRECTOR, ONLINE: Ryan Reid

ART DIRECTOR: Edward Bell
ASSISTANT ART DIRECTOR: Jen Christiansen
PHOTOGRAPHY EDITOR: Monica Bradley

COPY DIRECTOR: Maria-Christina Keller

EDITORIAL ADMINISTRATOR: Avonelle Wing
SENIOR SECRETARY: Maya Harty

COPY AND PRODUCTION, NATURE PUBLISHING GROUP:
SENIOR COPY EDITOR, NPG: Daniel C. Schlenoff
COPY EDITOR, NPG: Michael Battaglia
EDITORIAL ASSISTANT, NPG: Ann Chin
MANAGING PRODUCTION EDITOR, NPG: Richard Hunt
SENIOR PRODUCTION EDITOR, NPG: Michelle Wright

PRODUCTION MANAGER: Christina Hippeli
ADVERTISING PRODUCTION MANAGER: Carl Cherebin
PREPRESS AND QUALITY MANAGER: Silvia De Santis
CUSTOM PUBLISHING MANAGER: Madelyn Keyes-Milch

PRESIDENT: Steven Inchcoombe
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION: Frances Newburg

VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT: Michael Florek
BUSINESS MANAGER: Marie Maher

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag